

УЧЕТ, МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ. КАРТЫ КЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

АВТОРЫ:

С.В. ЧЕРЕШНЮК,
Л.В. ТИМАНОВА, К.Т.Н.,
«НТЦ РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

Климатические и природные условия местности в значительной мере определяют конструкцию воздушных линий электропередачи, расположение оси трассы, выбор типа опор и проводов, длину расчетного пролета.

Ключевые слова: климат; климатические нагрузки; воздушная линия электропередачи; метеорологическая станция; мониторинг; прогноз.



Гололедно-ветровые аварии воздушных линий сопровождаются обрывами проводов и тросов, поломкой опор, массовыми отключениями ВЛ и нарушением энергоснабжения потребителей в особо крупных масштабах с соответствующим ущербом во всех отраслях народного хозяйства и коммунально-бытовой сферах

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Совершенствование методов учета климатических условий неразрывно связано с развитием электросетевого комплекса, становление которого, в свою очередь, определялось потребностями народного хозяйства и необходимостью повышения уровня жизни населения молодой Страны Советов. Речь идет о 1920-х гг., начале создания и реализации плана ГОЭЛРО.

В те годы началось бурное строительство производств и промышленных предприятий в самых разных частях страны. Промышленность требовала надежного энергоснабжения. И эта задача стоит перед энергетиками до сегодняшнего дня.

Очень быстро стало понятно, что эмпирической экспертной оценки природных условий недостаточно для проектирования надежных и устойчивых систем энергоснабжения. Требовались методы точной, численной оценки. Так, А.А. Глазунов в своей монографии 1934 г. отмечал, что «только соединение эксплуатационного опыта с теоретическим анализом работы линий может дать рациональные конструкции линий, обеспечивающие и достаточную надежность, и экономичность работы» [1].

Прежде всего, необходимо было получить достоверные данные метеорологических наблюдений за ветром и гололедом. В 1923 г. инициатором массовых наблюдений за гололедом стал Народный комиссариат путей сообщения (НКПС), в ведении которого находилась обширная сеть метеорологических станций и постов. Кроме того, для наблюдений за гололедом привлекались работники железнодорожной связи. Подготовленное Главной геофизической обсерваторией (ГГО) наставление для массовых наблюдений предусматривало заполнение на каждый случай обледенения так называемого гололедного листка,

в который записывались сведения о виде, размере, продолжительности отложения льда, метеорологических условиях, сопутствовавших его образованию, а также о повреждениях и разрушениях линий связи вследствие их обледенения.

В 1930 г. по инициативе НКПС в местах, наиболее подверженных гололеду, были организованы опытно-исследовательские гололедные станции, в задачу которых входило всестороннее изучение обледенения проводов. Первая из таких станций была организована в предгорьях Северного Кавказа (Ново-Пятигорск), а вторая — в Донбассе (Дебальцево). В 1939 г. Главным управлением гидрометеорологической службы (ГУГМС) была организована третья опытно-исследовательская гололедная станция в Бугульме, Татарская АССР.

Основным недостатком наблюдений за гололедом того времени можно отметить их описательный характер. В упомянутой монографии А.А. Глазунова отмечалось, что «к сожалению, метеорологические станции СССР... в большинстве случаев не ведут нужных наблюдений за гололедами, почему и приходится руководствоваться данными, собираемыми путем опроса местных жителей, а главное — сведениями, получаемыми от существующих в том районе электрических станций, и от НКПС и НКС, имеющих долготлетние наблюдения над гололедом при эксплуатации телефонных и телеграфных линий» [1].

Еще в 1930-х гг. проф. А.А. Глазуновым и Л.И. Сиротинским при развитии плана электрификации СССР отмечалось, что конечной целью сбора данных наблюдений за ветром и гололедом, и их обработки должно быть составление соответствующих карт СССР. В дальнейшем это положение неоднократно подтверждалось на различных конференциях энергетиков и климатологов. Из доступных материалов того времени была только

Схема подверженности гололеду железнодорожной сети СССР (изд. Центрального планово-технико-экономического управления НКПС, 1931 г.). Территория размещения проектируемого объекта условно относилась к одному из четырех районов:

- 1) районы, где гололеды не наблюдаются;
- 2) районы со средней интенсивностью гололедных образований;
- 3) районы с сильными гололедами;
- 4) районы с особенно сильными гололедами [1, 2].

Необходимо было решить, какую величину вероятного воздействия (ветра, гололеда и т.д.) принимать для проектирования, некоторое время использовалась максимальная полученная величина. Но скоро стало понятно, что «расчет по единичным максимальным гололедам привел бы к большому удорожанию всех воздушных линий (ВЛ) электрической сети данного района, не оправдывающемуся с точки зрения интересов народного хозяйства» [1].

С увеличением доступности и продолжительности рядов наблюдений сформировался консенсус, что строительные конструкции необходимо проектировать на максимальные климатические нагрузки, имеющие определенную вероятностную природу, а точнее на величину нагрузки обеспеченности или, говоря иначе, повторяемости [3, 4]. Обосновывалось, что в зависимости от требуемой надежности объекта, на основании ряда наблюдений можно разработать статистические методы, позволяющие оценить нагрузки, в среднем имеющие повторяемость один раз в определенное число лет.

Первые карты появились в начале 1950-х гг. и были составлены для строительных норм и правил (СНиП). Нагрузки рассматривались с пятилетней повторяемостью.

Для разработки конкретных методик и построения карт районирования были необходимы точные численные данные, которые могли быть получены только посредством инструментальных наблюдений. В 1939 г. специальной комиссией, состоящей из представителей Гидрометслужбы и заинтересованных ведомств, был разработан проект станка для изучения гололеда, а также составлено руководство по производству наблюдений за обледенением проводов. Гололедный станок представлял собой установку, которая состояла из трех восьми-метровых столбов, расположенных на расстоянии 1,5 м друг от друга, в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (север–юг, восток–запад). На этих столбах подвешивались в том и другом направлениях по четыре отрезка проводов. Верхние два, подвешенные на высоте 6,65 и 6,30 м, имели диаметр 15 мм, нижние, подвешенные на высоте 5,95 м и 5,60 м, — 5 мм.

В 1946 г. к инструментальным наблюдениям за гололедом было привлечено 146 метеорологических станций, в 1950 г. — 691, а в 1957 г. — 2230. Кроме того, значительное развитие получила сеть ведомственных гололедных постов.

С 1951 г. инструментальные наблюдения за гололедом стали проводиться на стандартном гололедном станке, который используется и в настоящее время. Он имеет следующее устройство: приемной частью этого станка являются четыре провода, каждый длиной 90 см и диаметром 4–5 мм. Провода укрепляются на трех стойках: два провода в меридиональном направлении и два в широтном. Высоты их крепления составляют 1,9 и 2,2 м.

Наблюдения за ветром сначала проводились по флюгеру. Использовались несколько типов флюгеров: с легкой, тяжелой и сверхтяжелой доской. По флюгеру с легкой доской измерялись скорости ветра до 20 м/с, с тяжелой — до 40 м/с, со сверхтяже-

лой — более 40 м/с. Интервал осреднения скорости ветра при измерениях по флюгеру составлял 2 мин. С начала 1960-х гг. на метеостанциях для измерения скорости ветра стали применяться анеморумбометры М-63 и М-63 М, которые используются и по сей день. Анеморумбометр устанавливается на высоте 10 м. Интервал осреднения скорости ветра при измерениях составляет 10 мин.

Специалисты-климатологи ВНИИЭ (ЦНИИЭЛ) принимали самое активное участие в разработке методик учета климатических нагрузок на ВЛ и построения карт районирования.

В 1953 г. сотрудники ВНИИЭ Н.С. Муретов, Т.А. Бассарская и Р.Л. Тумаровская под руководством В.В. Бургсдорфа разработали предварительную карту максимальных скоростей ветра для Европейской территории СССР, а в 1954 г. — для Азиатской территории СССР. В 1955 г. в трудах ЦНИИЭЛ помещены результаты районирования территории СССР по гололеду.

В 1960–1962 гг. для высоковольтных линий электропередачи были выпущены методики по определению расчетных климатических условий и проведению районирования территории по ветру и гололеду. В 1960 г. ВНИИЭ разработал карту гололедных районов СССР, а в 1962 г. — карту ветровых районов СССР с повторяемостью климатических характеристик один раз в 10 лет. Работа была выполнена Т.А. Бассарской, Т.Н. Голиковой, Л.Е. Ломилиной, В.Ф. Околовым и Г.Д. Топорковой под руководством В.В. Бургсдорфа и Н.С. Муретова.

В дальнейшем ВНИИЭ (Т.Н. Голикова, Г.Д. Топоркова, Л.Е. Ломилина) были разработаны и выпущены методики по определению ветровых и гололедных нагрузок, по составлению карт регионального районирования, по учету рельефа и микрорельефа местности, а также проведены работы (Е.П. Никифоров) по выявлению влия-

ния конструкции ВЛ и расположения гололедного станка на величину гололедно-изморозевых отложений.

Был разработан и утвержден ряд методик и методических указаний по подготовке региональных карт районирования по ветру, гололеду и результирующей гололедно-ветровой нагрузке.

С 1965 г. проводились работы по подготовке региональных карт для территорий энергосистем по климатическим нагрузкам (ветер, гололед и ветер при гололеде).

На первых этапах развития метеорологических методик учета климатических нагрузок на ВЛ при проектировке и строительстве линии использовались данные близлежащих метеостанций. Для получения достоверных расчетных значений климатических нагрузок было предложено использовать максимально возможное число метеостанций изучаемого региона. Для этого были выполнены работы по определению коэффициентов пересчета данных наблюдений метеостанций для условий ровной открытой местности. Коэффициенты учитывали закрытость метеостанции, ориентацию гололедного станка по отношению к гололедонесущему потоку.

ТРЕБОВАНИЯ К УЧЕТУ КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СОГЛАСНО ПРАВИЛАМ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Для удобств проектирования, начиная с самых первых изданий Правил устройства электроустановок (ПУЭ), принято выделение районов по ветру и гололеду.

В первом (1950 г.) и втором (1959 г.) изданиях ПУЭ рассматривалось три класса ВЛ в зависимости от номинального напряжения между проводами одной цепи: I класс — 35 кВ и выше, II класс — 1–35 кВ, III класс — 1 кВ и ниже. Расчетные нагрузки

предлагалось принимать по наиболее невыгодным сочетаниям климатических условий, наблюдаемым не реже одного раза в 10 лет для ВЛ класса I и 5 лет для ВЛ класса II. Выделялось четыре гололедных района: I район — толщина стенки наблюдаемого гололеда, приведенного к цилиндрической форме и удельному весу 0,9, принята равной 0,5 см, II район — 1 см, III район — 1,5 см, IV район — 2 см. Скорость ветра при расчетах принималась не менее 25 м/с для ВЛ I класса и 20 м/с для ВЛ II класса. При расчете ВЛ рекомендовалось рассматривать различные сочетания климатических условий для нормального и аварийного режимов. Характерными чертами того периода были короткие ряды наблюдений.

Начиная с третьего издания (1964 г.) в ПУЭ появляются карты районирования СССР по скоростным напорам ветра и гололеду. В ПУЭ-3 и ПУЭ-4 (1965 г.) было введено семь ветровых районов, причем для VII района предусматривались следующие скорости ветра: 40 м/с для повторяемости один раз в пять лет, 43 м/с для повторяемости один раз в 10 лет и 45 м/с для повторяемости один раз в 15 лет. Количество районов и нормативные толщины стенки гололеда оставлены такими же, как в ПУЭ-2.

Приказом Минэнерго СССР с 1970 г. повторяемость климатических условий один раз в 10 лет (вероятность превышения климатических условий 0,9) принята и для расчета климатических нагрузок на ВЛ 6–35 кВ.

В ПУЭ пятого (1978 г.) и шестого (1985 г.) изданий повышен период повторяемости для ВЛ напряжением 6–35 кВ (один раз в 10 лет). Также были уточнены формулы и коэффициенты расчета климатических нагрузок.

В середине 1980-х гг. ВНИИЭ предложил использовать для расчетов и построения карт регионального районирования 25-летний период по-

вторяемости. Также было предложено проводить районирование не только гололедных и ветровых нагрузок, но и ветровых нагрузок при гололеде.

При развитии сетей 750 кВ для повышения их надежности приказом Минэнерго СССР от 01.08.88 № 376 было принято решение об определении ветровых, гололедных и гололедно-ветровых нагрузок на опоры ВЛ 750 кВ

с повторяемостью один раз в 25 лет. Согласно приказу Минэнерго России от 20.05.2003 № 187 с 1 октября 2003 г. введена в действие глава 2.5 ПУЭ-7. В ПУЭ-7 (2003 г.) в качестве нормативной величины принята повторяемость климатических условий один раз в 25 лет (вероятность превышения климатических условий 0,96). Выделено семь районов по ветру с выделением особого района со скоростью ветра

СРАВНЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПУЭ РАЗНЫХ ИЗДАНИЙ К УЧЕТУ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Издание ПУЭ	Год	Число районов по ветру	Число районов по гололеду	Периоды повторяемости	Вероятность превышения
1-е	1950	5	4 и особый	5 лет — для ВЛ 35 кВ и ниже	0,8
				10 лет — для ВЛ 110 кВ и выше	0,9
2-е	1959	5	4 и особый	То же	То же
3-е	1964	7	4 и особый	5 лет — для ВЛ 35 кВ и ниже	0,8
				10 лет — для ВЛ 110–330 кВ	0,9
				15 лет — для ВЛ 500 кВ	0,933
4-е	1966	7	4 и особый	То же	То же
5-е	1978	7	4 и особый	5 лет — для ВЛ 3 кВ и ниже	0,8
				10 лет — для ВЛ 6–330 кВ	0,9
				15 лет — для ВЛ 500 кВ	0,933
6-е	1985	7	4 и особый	5 лет — для ВЛ 3 кВ и ниже	0,8
				10 лет — для ВЛ 330 кВ и ниже	0,9
				15 лет — для ВЛ 500 кВ	0,933
7-е	2003	7 и особый	7 и особый	25 лет для всех классов ВЛ	0,96

Таблица 1

выше 49 м/с и семь районов по гололеду с выделением особого района с образованием гололеда толщиной больше 40 мм.

В табл. 1 приведены требования к учету климатических условий при проектировании ВЛ в ПУЭ различных изданий.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕЛ

УЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА

Зарубежный опыт

В мировой практике существуют различные подходы к учету климатических условий при проектировании объектов электроэнергетики: от статистических методов учета данных метеорологических наблюдений до использования результатов численного моделирования климата и циркуляции атмосферы.

Под эгидой Международной электротехнической комиссии разработан ряд документов с рекомендациями по проектированию ВЛ электропередачи. Из них можно выделить: Воздушные линии электропередачи — Метеорологические данные для оценки климатических нагрузок (IEC TR 61774) [5] и Критерии проектирования воздушных линий электропередачи (IEC 60826) [6].

В 2012 г. в рамках рабочей группы СИГРЭ (WG B2.28 CIGRE) была предпринята попытка обобщения мирового опыта в части получения и использования метеорологических данных для оценки климатических нагрузок на ВЛ [7]. В документе, в частности, приведен обзор методов наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями, применяемых

в разных странах. Отмечено, что нет общепринятого стандарта по наблюдениям за гололедно-изморозевыми явлениями (рис. 1), притом что по другим метеорологическим параметрам (температура, ветер, давление и т. д.) установлены единые мировые, весьма жесткие требования к синхронности и точности измерений.

Ограничения по объему статьи не позволяют остановиться подробно на анализе зарубежных подходов. Однако если кратко обобщить международные нормы, то ВЛ электропередачи рекомендовано проектировать, исходя из вероятности превышения климатических условий (нагрузок) в размере 0,98, 0,9933, 0,998 в зависимости от требуемой надежности. Для ВЛ 220 кВ и ниже рекомендована вероятность превышения 0,98 (повторяемость один раз в 50 лет). Для ВЛ 330 кВ и выше, а в некоторых случаях и для ВЛ 110, 220 кВ, рекомендована вероятность превышения 0,9933 и 0,998 (повторяемость соответственно один раз в 150 и 500 лет). Для более протяженных ВЛ с целью уменьшения возможного риска вероятность превышения климатических условий должна быть увеличена.

Общей чертой исходной информации, используемой для проектирования в большинстве зарубежных стран, является отсутствие систематических, однородных и продолжительных наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями. Исключением в этом отношении является Исландия, на территории которой, несмотря на небольшие размеры, действует около 40 измерительных пролетов (см. рис. 1 а). Однако следует отметить, что наблюдения там ведутся только с 1972 г., а относительно большое количество измерительных станций объясняется сложным горным рельефом и морским влажным климатом, в совокупности создающими благоприятные условия для значительных и частых обледенений. В остальном мире, за исключением России и рес-

публик бывшего СССР, наблюдения ведутся на единичных станциях и чаще всего имеют короткие ряды наблюдений. Чуть лучше ситуация обстоит в странах бывшего социалистического лагеря (Чехия, Словакия, Польша, частично Германия), живших по близким стандартам, хуже — в странах бывшего капиталистического лагеря, где узкоспециализированные наблюдения за гололедом или не проводились совсем, или выполнялись силами заинтересованных энергетических компаний и/или университетов. Неудивительно, что в зарубежной практике при отсутствии наблюдений в лучшем случае используются данные численного климатического моделирования, а в худшем случае — экспертная оценка.

Отечественный подход

В Российской Федерации накоплен уникальный объем стандартных наблюдений за метеорологическими условиями, включая гололедно-изморозевые. По многим метеостанциям доступны наблюдения с 1940–1950-е гг. С начала 1960-х гг. и до начала 1990-х гг. издавались бесплатные ежемесячники с результатами измерений, использовавшиеся для нужд всех отраслей народного хозяйства в то время единого советского государства. В настоящее время стандартные наблюдения за метеос условиями в РФ ведут около 2000 (!) метеорологических станций.

Для сбора и хранения исходной метеорологической информации (данных наблюдений метеостанций) в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» (далее — НТЦ) был разработан специализированный программный комплекс, который состоит из базы данных (БД) по климатическим характеристикам и программной оболочки, осуществляющей обработку и манипуляцию данными из БД. Использование информационной системы позволяет автоматизировать и ускорить процесс определения климатических нагрузок.

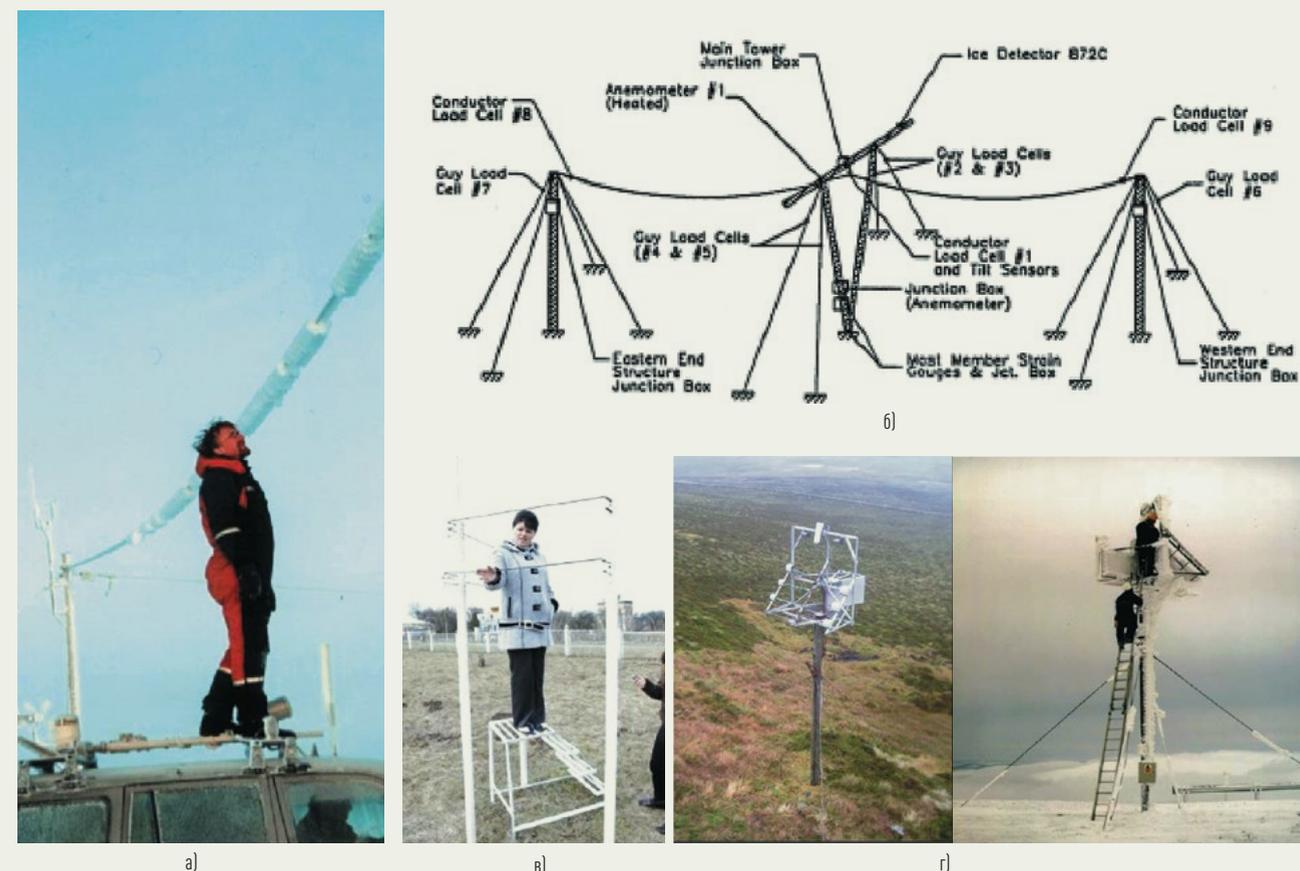
БД содержит сведения о климатических условиях по территории РФ по 1860 метеостанциям по ветру и по 1254 метеостанциям по гололеду за многолетний период по величине максимальной скорости ветра, гололедно-изморозевым отложениям (в том числе по дате, виду, размерам отложения, массе отложения, скорости и направлению ветра в начале обледенения, максимальной скорости и направлению ветра за период обледенения), продолжительности гроз в часах, числу дней с грозами.

Для каждой метеостанции в БД хранится следующая информация: название метеостанции; республика, область, край; высота станции над уровнем моря, м; высота флюгера с легкой доской, м; высота флюгера с тяжелой доской, м; высота анеморумбометра, м.

На рис. 2 представлена структура БД с описанием ее основных характеристик. Программная оболочка позволяет осуществлять работу с данными, хранящимися

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

ВАРИАНТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ



Обозначения: а) измерительный пролет в Исландии; б) схема измерительного пролета в Канаде (Сент-Джонс, Ньюфаундленд); в) гололедный станок в Российской Федерации; г) измерительные станции в Великобритании

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

На сегодняшний день в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» хранится уникальная база исходных данных наблюдений за скоростью и направлением ветра, гололедно-изморозевыми явлениями и интенсивностью грозовой деятельностью. Так, по гололеду хранятся сведения о более чем 733 тыс. случаев обледенения!

Этот уникальный массив данных позволяет использовать при проектировании ВЛ статистически надежные, обоснованные величины. Как было указано, делается это через построение и использование при проектировании и эксплуатации региональных карт климатического районирования.

Сегодня используются карты, созданные на географической основе масштаба 1: 500000 (в 1 см 5 км), при подготовке которых применяются специальные методы экстраполяции данных наблюдений в точке расположения метеостанций на рассматриваемую территорию.

«НТЦ Россети ФСК ЕЭС» (а ранее ВНИИЭ) продолжает играть ведущую роль в разработке указанных методов. Начиная с 1972 г. подготовлен целый ряд методических указаний по созданию региональных карт климатического районирования для целей проектирования объектов электроснабжения. Отдельно следует упомянуть документы, определившие современный облик нормативных требований: Методические указания по расчету климатических характеристик на ВЛ и построению региональных карт с повторяемостью один раз в 25 лет [8], где была предложена методика создания карт с повторяемостью

один раз в 25 лет, и СТО 56947007–29.240.055–2010 «Методические указания по расчету климатических нагрузок в соответствии с ПУЭ–7 и построению региональных карт климатического районирования» [9], в которых требования к построению региональных климатических карт были гармонизированы с общими требованиями главы 2.5 ПУЭ–7.

В 2010–2013 гг. в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» впервые был разработан уникальный полный комплект региональных карт климатического районирования по всем регионам Российской Федерации с межрегиональным согласованием границ районов. На основании разработанных карт в «Россети ФСК ЕЭС» был выпущен СТО 56947007–29.240.01.189–2014 «Методические указания по применению альбомов карт климатического районирования территории по субъектам РФ», который стал стандартом для проектируемых и эксплуатируемых ВЛ не только «Россети ФСК ЕЭС», но и сетей других собственников.

Изменение климата, особенностей циркуляции атмосферы, а в некоторых случаях значительное удлинение рядов наблюдений метеостанций и появления новых данных опыта эксплуатации приводят к тому, что существующие карты регионального климатического районирования требуют пересмотра и уточнения. Согласно приказу Минэнерго от 19.12.2018 № 1185, карты по гололеду должны обновляться не реже одного раза в 10 лет. «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» играет ведущую роль в создании и поддержании актуальности указанных региональных карт климатического районирования.

Сегодня в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» разрабатываются карты для ПАО «Россети», «Россети ФСК ЕЭС», ПАО «Роснефть», ПАО «РусГидро», уточняются климатические условия для отдельных объектов многих других собственников.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

С 2001 г. ВНИИЭ, а затем НТЦ, ведет целенаправленную работу по повышению уровня автоматизации при разработке климатических карт регионального районирования и определении климатических нагрузок на ВЛ [10, 11]. Эти работы включают в себя автоматизацию всех этапов, предшествующих построению карты климатического районирования и получению расчетных климатических нагрузок. Автоматизированы процессы сбора и хранения исходной информации по данным наблюдений метеорологических станций, составления и обработки исходных рядов, статистических рядов, расчета их параметров, определения климатических характеристик с заданной вероятностью неперевышения.

Построение карт регионального районирования проводится с помощью специализированной геоинформационной системы. Географическая информационная система (ГИС) — это система для управления географической информацией, ее анализа и отображения. Географическая информация представляется в виде серий наборов географических данных, которые моделируют географическую среду посредством простых обобщенных структур данных. ГИС включает наборы современных инструментальных средств для работы с географическими данными.

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

Карта несет в себе всю необходимую информацию для привязки к местности: абсолютные отметки местности, населенные пункты, административные границы, гидрологическая сеть (реки, озера). По желанию заказчика возможно добавление на карту дополнительной информации — автомо-

бильные и железные дороги, метеостанции, существующие ВЛ и др.

На карте приводятся дополнительные параметры, необходимые для проектирования и эксплуатации, такие как нормативные районы и нормативные величины климатических условий, статистические параметры, позволяющие определять климатические нагрузки с любой необходимой вероятностью неперевышения. Например, для ВЛ, имеющей особую важность, заказчик может выбрать обеспеченность по климатическим нагрузкам, равную 0,998 (вероятность превышения расчетных нагрузок в каждом году составляет 0,002, повторяемость — один раз в 500 лет). Разрабатываемые «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» карты позволяют выполнять подобные расчеты, используя приведенные на них параметры и стандартные статистические зависимости.

МОНИТОРИНГ И НАБЛЮДЕНИЯ

В последнее время в электрических сетях для мониторинга гололедообразования все более активно применяются различные программно-аппаратные комплексы мониторинга за климатическими воздействиями на ВЛ, предназначенные для полной автоматизации и обеспечения информационных функций контроля за процессом изменения скорости и направления ветра, гололедных отложений на проводах и грозозащитных тросах, температуры воздуха, отклонения вертикали опор ВЛ из-за морозного пучения, глубины промерзания — оттаивания грунтов и повышения надежности работы электрических сетей в осенне-зимний период.

«НТЦ Россети ФСК ЕЭС» активно участвует в разработке комплексных систем мониторинга не только метеорологических и природных факторов (температура, направление и скорость ветра), но и параметров технического состояния линии. Так, в системе мониторинга, установленной в 2018 г.

СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ «КЛИМАТОЛОГИЯ ВЛ»

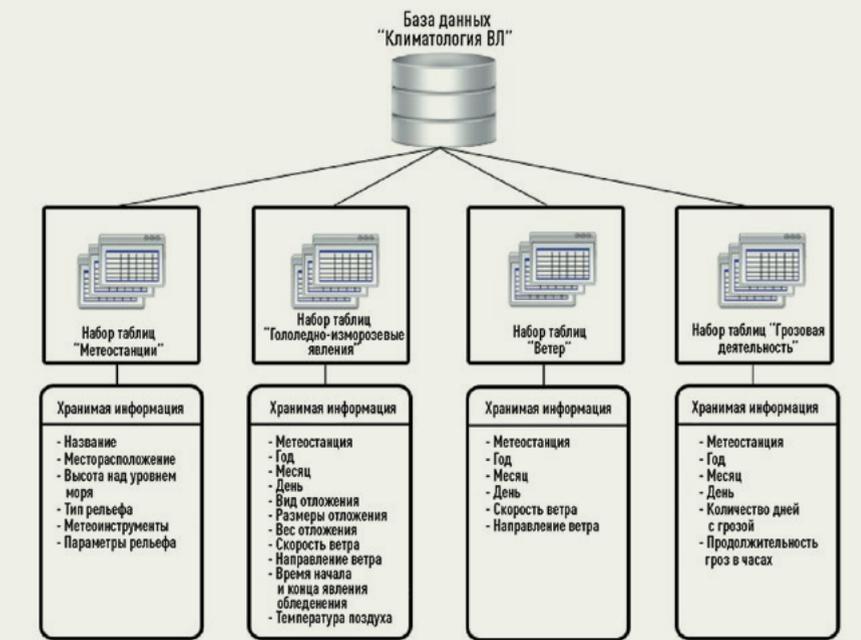


Рис. 2

на ВЛ 110 (220) кВ «Оленья — Ямбург», кроме метеодатчиков были внедрены датчики контроля температуры грунта вдоль фундаментов опор (термокоса) и датчики угла отклонения опоры от вертикали (рис. 3). Как показал анализ данных опыта эксплуатации ВЛ на севере ЯНАО, актуальным является контроль состояния многолетнемерзлых грунтов, а также контроль состояния конструкций ВЛ, находящихся в таких условиях.

ПРОГНОЗ

На сегодняшний день практически все предприятия электроэнергетики, в том числе собственники электрических сетей, осознали важность использования прогнозов погоды и прогнозов опасных погодных явлений в своей ежедневной деятельности. В крупных энергетических компаниях действуют специализированные ситуационно-

аналитические центры (САЦ СО ЕЭС, САЦ «Россети», САЦ «РусГидро» и др.), которые наряду с другой информацией ежедневно отслеживают прогнозы погоды. Поставщиками данных прогноза являются «Гидрометцентр России», «МэпМейкерс» (бренд «Гисметео») и ряд других коммерческих операторов. Общим недостатком всех этих прогнозов с точки зрения электросетевого комплекса является их описательный характер. Например, указывается, что на территории какой-то области ожидаются усиление ветра до 20 м/с и гололедно-изморозевые явления. Такой прогноз позволяет сетевым организациям ввести режим повышенной готовности, однако не дает точной информации ни о величине прогнозируемых нагрузок, ни о точном месте локализации этих опасных явлений. Эти недостатки пока не дают извлечь полноценную выгоду из прогнозов опасных явлений погоды.

ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Немаловажной практической частью деятельности подразделения «НТЦ Россети ФСК ЕЭС», занимающегося оценкой и прогнозированием природных и климатических условий, являются работы по проведению

инженерно-гидрометеорологических изысканий в интересах Дирекции по проектированию «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» (рис. 4). В этих работах проявляется большой синергетический эффект взаимодействия разных специалистов научно-технического центра. Климатологи «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» опираются на собственный большой опыт разработки карт регио-

нального климатического районирования, методических указаний по расчету климатических нагрузок на ВЛ, накопленные сведения о природных и климатических условиях регионов РФ, а также на данных эксплуатации действующих ВЛ. Проектировщики получают точные сведения, необходимые для проектирования, в оперативном порядке. Работа осуществляется в постоянном взаимодействии подразделений с момента получения задания на проектирование и предпроектного обследования до момента получения положительного заключения экспертизы.

В настоящее время постоянно развиваются материально-техническая база и уровень компетенций сотрудников сектора изысканий «НТЦ Россети ФСК ЕЭС».

БУДУЩЕЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

ЕДИНАЯ СИСТЕМА ГИДРОМЕТЕОИНФОРМАЦИИ С ИНТЕРФЕЙСАМИ СВЯЗИ С КОРПОРАТИВНЫМИ ГИС «РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

Дальнейшее развитие методов учета климатических условий при проектировании и эксплуатации объектов электросетевого комплекса будет тесно связано с развитием информационных технологий, методов моделирования и автоматизации производственной деятельности, и специалисты «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» принимают в этом самое активное участие.

Так, уже сегодня идет развитие Единой информационно-аналитической системы электроэнергетики, которая должна объединить в себе не только подсистемы документооборота, финансовой и аналитической информации, но и данные ГИС о пространственных сетевых объектах, а также

базы данных об опыте эксплуатации. В дальнейшем будет происходить интеграция этих систем со вспомогательными системами дополнительной информации. Климатическая, погодная и иные сведения о природной среде (географические, геологические и экологические) станут немаловажной частью Единой информационно-аналитической системы.

Приведем обзор перспектив развития отдельных направлений цифровой интеграции.

СКВОЗНАЯ ЦИФРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ МАССИВОВ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ОПЕРАТИВНЫХ ДАННЫХ

Как было сказано выше, уже сегодня в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» разработана база данных климатических условий по данным наблюдений метеорологических станций Российской Федерации. В ближайшие годы будет продолжено расширение и наполнение базы данных, а также ее перемещение в облачные сервисы с целью предоставления доступа к указанной информации как сотрудникам Россетей, так и внешним заинтересованным организациям (проектные, строительные), выполняющим работы для ДЗО «Россети ФСК ЕЭС». Внешние организации могли бы оперативно, в автоматизированном режиме получать на коммерческой основе данные о климатических и природных условиях района проектирования и строительства. В «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» уже разработан прототип портала климатических карт с тарифицируемым доступом. Ведется его развитие и подготовка к внедрению в коммерческое пользование.

Перспективным видится межведомственное и межотраслевое взаимодействие по разработке совместных взаимовыгодных цифровых сервисов. Так, например, сегодня при проектировании ВЛ электропередачи уходят недели и месяцы на получение исходных климатических и гидрологических

данных в структурах Росгидромета. Перспективой представляется разработка совместного цифрового сервиса оперативного получения исходной информации на коммерческой основе. Такой сервис позволил бы значительно сократить сроки изысканий, а следовательно, и сроки проектирования, повысить надежность и точность предоставляемой информации.

МОБИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОГОДЫ, СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЛ

Безусловно, будет происходить дальнейшее развитие систем мониторинга, включающих в себя элементы наблюдений за погодой, природными факторами и параметрами функционирования объектов электросетевого комплекса. Системы мониторинга будут становиться все более гибкими, настраиваемыми под требования конкретного собственника и конкретные природные условия, автономными, работающими без отбора мощности и внешнего питания, а также интеллектуальными, способными сообщать о своем техническом состоянии и реагировать (в том числе без участия человека) на возникающие технические неполадки и/или изменения параметров функционирования электросетевого объекта.

Кроме того, данные систем мониторинга будут интегрироваться в Единую информационно-аналитическую систему, что позволит повысить уровень информированности персонала, а также выбирать ряды данных наблюдений в разных точках территории, особенно в удаленных районах, о которых в сети Росгидромета есть мало данных.

В настоящее время «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» ведет ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в данном направлении. Это, в частности, интеллектуальные, автономные системы освещения пе-

реходных опор, система адаптивной автоматики, позволяющая регулировать (точнее максимизировать) пропускную способность ВЛ в зависимости от текущих погодных условий.

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ И МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЦЕСС ПОСТРОЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ КАРТ

Анализ современных мировых тенденций в методах учета климатических нагрузок на ВЛ указывает на интеграцию статистических методов и методов математического моделирования в процессе расчета климатических нагрузок. Корректное одновременное использование этих разноплановых математических методов позволит нивелировать недостатки, присущие в отдельности каждому из них. Так, несмотря на большие массивы накопленных данных наблюдений метеорологических станций на территории РФ, по многим районам сведений по точным наблюдениям недостаточно. В связи с этим применение статистических методов может давать искаженные результаты. В свою очередь, методы математического моделирования существенно зависят от принятых начальных и граничных условий и при недостатке исходных статистически обоснованных данных могут давать значительные погрешности. С этой точки зрения может оказаться полезным применение современных математических методов обработки и анализа больших объемов данных, а также искусственного интеллекта.

КАРТЫ КЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

Карты регионального климатического районирования доказали свою эффективность и останутся основным средством учета климатических условий при проектировании и эксплуатации объектов электросетевого



Рис. 3 Система мониторинга, установленная на анкерно-угловой опоре на Тазовском полуострове Ямало-Ненецкого АО

комплекса. Регулярно проводится их актуализация с учетом полных рядов наблюдений метеостанций Росгидромета, автоматизированных постов наблюдений, данных опыта эксплуатации действующих ВЛ. В дальнейшем будут совершенствоваться методы построения карт с более широким использованием методов математического моделирования и геоинформационных систем.

В ближайшее время все региональные карты будут доступны через сеть Интернет в виде геоинформационного сервиса. Пользователи смогут оперативно получать информацию о климатических условиях по интересующему субъекту РФ или по участкам ВЛ.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ГИДРОМЕТИЗЫСКАНИЙ

На сегодняшний день в методах проведения полевых работ и во всем процессе выполнения инженерно-гидрометеорологических изысканий есть огромный потенциал для повы-

шения уровня автоматизации работ и производительности труда.

В настоящее время сотрудники «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» работают над созданием и внедрением собственных программно-аппаратных комплексов, позволяющих облегчить выполнение полевых работ и автоматизировать сбор и обработку части информации. В перспективе участие гидрометеоролога потребуется на самых важных и ответственных этапах полевых и камеральных работ. Это позволит ускорить выполнение работ, избавить специалиста от низкоквалифицированной вычислительной и оформительской работы, уменьшить число «вынужденных» ошибок, связанных с человеческим фактором.

Уже на этапе поступления задания на проектирование и выбора оси будущей трассы ВЛ будет автоматически формироваться документ с максимальным числом климатических и гидрологических характеристик, необходимых для проектирования. При проведении полевых работ будут использованы портативные компью-

теры и планшеты с соответствующим программным обеспечением, интегрированным с ГИС и базами данных. Собранные полевые данные в режиме реального времени (при наличии связи) будут поступать в единую базу данных. На этапе камеральных работ и подготовки отчетных материалов значительная часть расчетов будет выполняться автоматически, что позволит специалисту сосредоточиться на ключевых моментах.

ОПЕРАТИВНЫЕ СЛУЖБЫ ПРОГНОЗА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СЛУЖБ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЯХ ПОГОДЫ

Отдельно следует остановиться на развитии методов прогноза опасных для энергетики явлений погоды. Существующий уровень развития вычислительных мощностей и методов численного моделирования позволяет получать высокоточные прогнозы метеопараметров с пространственным разрешением 1 км и меньше. Таким образом, уже в ближайшее время удастся достигнуть прогнозов погоды с точностью до пролета ВЛ.

А в совокупности с накопленными в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» сведениями о пространственном расположении энергообъектов, их технических характеристиках и техническом состоянии, а также с учетом методов расчета прогнозируемых нагрузок непосредственно на конструкции ВЛ можно будет формировать точные прогнозы мест и времени вероятных технологических нарушений в работе ВЛ.

Заинтересованными потребителями указанных прогнозов могли бы стать службы эксплуатации и ситуационно-аналитические центры, о которых было сказано выше. Экономическая эффективность таких прогнозов на фоне больших ежегодных ущербов от опасных явлений погоды не вызывает сомнений.

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Заканчивая обзор перспектив развития «климатического» направления в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС», невозможно не остановиться на вопросах изменения климата и развития альтернативной энергетики. Эти вопросы сегодня рассматриваются неразрывно и весьма актуальны в повестке мировых политических лидеров. Они часто используются как элемент торга, спекуляций и даже давления стран друг на друга.

В этой ситуации для любого руководителя и любой крупной компании важно отделить рациональное от спекулятивного для понимания рисков, методов управления этими рисками, а также, может быть, и открывающихся возможностей.

Изменение климата несет для Российской Федерации как риски, так и новые возможности. Так, анализ, проведенный сотрудниками МЭИ (НИЛ глобальных проблем энергетики), показал, что климатические изменения на территории России, выражающиеся в повышении темпе-

ратуры воздуха во все сезоны во всех регионах, приводят к замедлению роста зимних и ускорению роста летних максимумов нагрузки практически во всех энергосистемах, а также к снижению суточной неравномерности потребления электроэнергии в холодный период, но к существенно увеличению этой неравномерности летом [12].

Для сетевых компаний изменение климата наиболее чувствительно в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Их деградация ведет к потере несущей способности грунтов с вытекающими отсюда проблемами (повышение аварийности на ВЛ, увеличение эксплуатационных затрат, снижение надежности энергоснабжения потребителей). Службы эксплуатации стараются гибко реагировать на возникающие проблемы, внедряя новые технические решения и методы поддержания технической годности объектов.

Внедрение источников альтернативной (или «зеленой») энергетики в Российской Федерации только начинается. В первую очередь перспективными эти источники энергии являются для отдаленных районов Крайнего Севера и изолированных населенных пунктов. Такая работа уже ведется, однако пока не хватает системного, научно обоснованного подхода к проектированию и использованию таких источников энергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Накопленный в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» уникальный сплав из знаний, компетенций, многолетних архивов, баз данных, методических наработок, а также внедренных и разрабатываемых современных технических решений в виде ГИС проектов, баз данных и программных комплексов позволяет компании оставаться лидером электроэнергетической отрасли в части учета климатических и иных

природных воздействий. «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» не только не остается в стороне от новых трендов и технологий, но и сам задает направления развития отраслевой науки в области учета климата и изучения влияния природной среды на функционирование электросетевого комплекса и электроэнергетики в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов А.А. Расчет механической части воздушных линий сильного тока: Допущено Глав. упр. учеб. заведениями НКТП в качестве учеб. пособия для энергетич. вузов. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1934.
2. Бургсдорф В.В. Сооружение и эксплуатация линий электропередачи в сильно гололедных районах. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1947.
3. Крюков К.П., Курносов А.И., Новгородцев Б.П. Конструкции и расчет металлических и железобетонных опор линий электропередачи. М.: Энергия, 1964.
4. Заварина М.В. Строительная климатология. Л.: Гидрометеоиздат, 1976.
5. IEC TR 61774: Overhead lines — Meteorological data for assessing climatic loads, 1997.
6. IEC 60826: Design criteria of overhead transmission lines, 2006.
7. Meteorological Data for assessing climatic loads on overhead lines, 645. Working Group B2.28. CIGRE. 2016.
8. Методические указания по расчету климатических характеристик на ВЛ и построению региональных карт с повторяемостью 1 раз в 25 лет. М., 1990.
9. СТО 56947007–29.240.055–2010 «Методические указания по расчету климатических нагрузок в соответствии с ПУЭ-7 и построению региональных карт климатического районирования». М., 2010.
10. Тимашова Л.В., Луговой В.А., Черешнюк С.В. Учет климатических нагрузок на воздушные линии электропередачи//Энергия единой сети. 2014. № 3 (14). С. 16–26.
11. Черешнюк С.В., Мерзляков А.С., Назаров И.А. Применение геоинформационных технологий для оценки технического состояния воздушных линий электропередачи 110–220 кВ, проходящих в сложных климатических и инженерно-геологических условиях//РМ. 2018. № 3 (581). С. 40–49.
12. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г., Федотова Е.В. Климатические экстремумы — новый вызов для российских энергосистем//Теплоэнергетика. 2021. № 3. С. 3–17.



Рис. 4
Проведение инженерно-гидрометеорологических изысканий в Забайкальском крае в 2021 г.