Испытательные установки и измерения на высоком напряжении. – М.: Энергия, 1980. – 136 с. **3**. ГОСТ 15.16.2-97. Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции. Госстандарт Украины с дополнениями и поправкой, 1999. – 32 с. **4**. *Шваб А*. Измерения на высоком напряжении: пер. с нем. – М.: Энергия, 1973. – 231 с. **5**. *Ивкин В.Г., Трифонов Е.Е*. Обеспечение электромагнитной совместимости электронных модулей управления с мощными импульсными установками // Третья всесоюзная конференция «Импульсные источники энергии». Тезисы докладов. – Ленинград, 20-22.06.1989. – С. 229-230.

Поступила в редколлегию 11.03.2008.

УДК 621.315

В.В.ВОЛОХИН, НТУ «ХПИ», Харьков

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Стаття присвячена обгрунтуванню вибору засобів реєстрації ожеледно-паморозевих утворень на лініях електропередач. Проаналізована можливість використання даних державної мережі метеостанцій для потреб електроенергетичного господарства. В результаті виконаного аналізу запропоновано використовувати в якості датчика виявлення ожеледі об'ємний резонатор надвисокої частоти, вказано основні напрямки наукових досліджень, необхідних для вирішення поставленої задачі.

The article is devoted to a substantiation of a choice of registration means for glaze and rime formations on electric mains. The opportunity of using of the state meteorological stations data for needs of electric-power industry is analysed. As a result of the executed analysis it is offered to use the volumetric ultrahigh frequency resonator as the glaze detection sensor.

Электроэнергия – самый прогрессивный и уникальный энергоноситель. Ее свойства таковы, что она способна трансформироваться практически в любой вид конечной энергии, в то время как топливо, пар и горячая вода – только в механическую энергию и тепло разного потенциала. Среди показателей, характеризующих деятельность электрических сетей по степени важности, можно выделить надежность энергоснабжения и качество энергии. Под надежностью энергоснабжения следует понимать способность электросети обеспечить бесперебойную подачу электроэнергии и мощности потребителям.

К сожалению, некоторые вопросы обеспечения надежности электроснабжения остаются не решенными в силу ряда причин, одной из которых является отсутствие информационного обеспечения и, как следствие, эффективного мониторинга не только параметров режима передачи энергии, но и

метеоситуации, сопровождающей ее. Это тем более существенно, что в последние годы в результате резких изменений погодных условий имел место целый ряд серьезных повреждений линий электропередачи в различных регионах Украины, включая не только обрыв проводов, но и падение опор. Падение одной опоры, как правило, приводит к «эффекту домино», то есть падению соседних опор (из-за возрастания нагрузки и смещения центра тяжести).

Естественно, что своевременное предупреждение о возможности образования гололеда, а также экспресс-контроль над этим процессом в различных точках линий передач смогут сохранить как работоспособность различных систем электроэнергетики, так и значительные суммы денег, необходимые на восстановление разрушенных участков. В связи с этим, изучению физических процессов и роли отдельных метеопараметров при гололедообразовании, а также связи этих процессов с синоптическим состоянием атмосферы в целом посвящен ряд работ, в которых основное внимание уделялось влиянию локальных, микроклиматических особенностей, зависящих от физико-географического характера местности. Но систематическое исследование данного вопроса и большинство связанных с ним публикаций в научных изданиях относятся, к сожалению, в основном к семидесятым-восьмидесятым годам прошлого столетия.

Основными при гололедообразовании являются процессы кристаллизации воды и сублимации водяного пара из воздуха, причем один из них преобладает в конкретной метеорологической ситуации. Главная причина отложения гололеда на различных поверхностях, в том числе и на проводах, заключена в кристаллизации переохлажденных капель дождя, мороси или тумана. Скорость нарастания слоя льда (интенсивность) зависит от температуры воздуха и поверхности, на которую оседают капли, их размеров, влагосодержания воды в единице объема, скорости и направления ветра.

Ранее достаточно масштабно проводились исследования по изучению влияния различных факторов на процесс гололедообразования, их физико-химической связи и закономерности для изучения эмпирических уравнений возможного образования гололеда с определенной степенью вероятности наступления события. Такой подход был вызван отсутствием достаточно надежных динамических моделей. Поскольку предполагаемые модели должны содержать большое число (порядка 20) различных параметров, то проведение натурного эксперимента с регистрацией такого числа варьируемых параметров представляет технически сложную задачу.

Существующие математические модели позволяют предсказывать возможные экстремальные ситуации в поведении погоды. Однако, во-первых, они требуют значительного времени для обработки результатов, поступающих из различных метеорологических пунктов, во-вторых, поскольку все эти модели имеют вероятностный характер, то в них не всегда можно учесть быстроменяющуюся на линии электропередач ситуацию [1,2].

Традиционно климатическую информацию для нужд национального хозяйства Украины поставляет государственная специализированная система, в составе которой функционирует разветвленная сеть стандартных метеостанций и метеопостов в количестве более 200 единиц. Анализ этой сети выявил невозможность удовлетворения данной системой в полной мере потребностей электроэнергетической отрасли в качественной информации, поскольку существующая сеть метеостанций не может быть ориентирована на решение прикладных задач конкретной отрасли.

Основными недостатками существующей системы метеостанций являются следующие:

- местоположение стандартных метеостанций для наблюдений не охватывает зоны размещения объектов электрических сетей;
- со временем площадки части станций оказались внутри застроенных территорий, их измерительные приборы экранированы строениями, деревьями и т.п.;
- метеостанции оснащены устаревшими аппаратурно-приборными средствами измерений;
- стандартные среды производства измерений (по высоте над поверхностью земли, предметам намерзания) не отвечают условиям размещения и конструкциям электросетевых объектов;
- необходимость перенесения наблюденных показаний с помощью переходных расчетов на трассу объекта;
- операторский способ производства наблюдений;
- малая частота наблюдений.

На сегодняшний день нет никаких оснований считать, что существующая государственная метеорологическая служба будет когда либо существенно приближена к решению проблем энергетической отрасли.

В соответствии с вышесказанным, рациональным и эффективным решением для отрасли может стать образование специализированной службы метеоинформации. Эта служба предназначена для осуществления метеомониторинга (возможность вести постоянное наблюдение за состоянием атмосферы на трассе линии, а также давать динамическую информацию о непрерывном изменении влажности, температуры и других параметров атмосферы, которые сопровождают образование гололеда) в пределах территориального обслуживания электрических сетей НЭК «Укрэнерго».

Сеть ведомственных автоматизированных метеопостов (СВАМ) создается с целью предотвращения аварий, связанных с появлением гололеда (обрыв проводов ВЛ, повреждение конструкций опор) путем своевременного оповещения оперативного персонала о возможности и факте появления гололеда и управления режимом их работы.

Структура комплекса технических средств СВАМ должна включать 3 уровня (см. рис. 1):

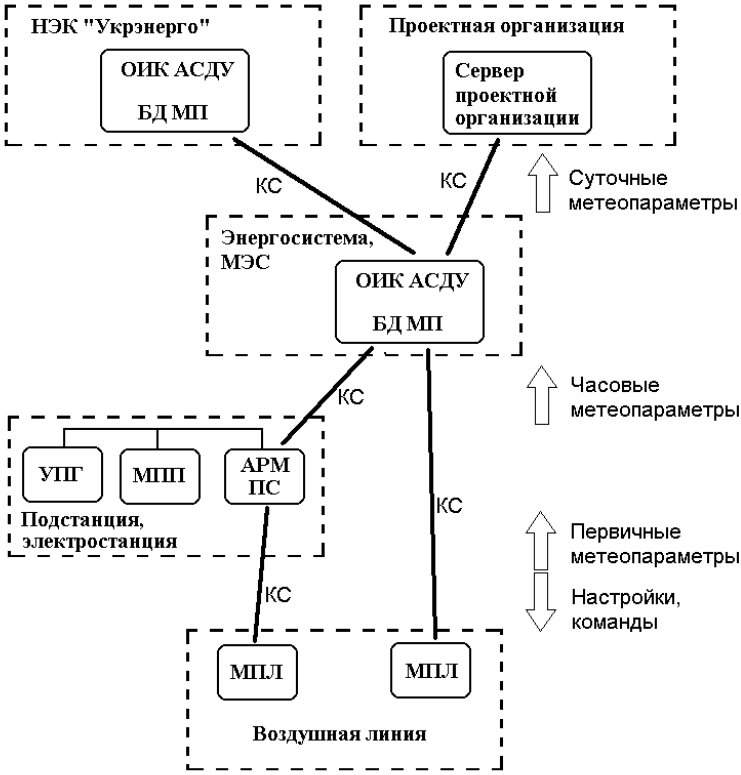

Рисунок 1 – Структурная схема СВАМ

ОИК АСДУ – оперативно-информационный комплекс автоматизированной системы диспетчерского управления; МПП – метеопост подстанции; УПГ – установка плавки гололеда; МЭС – магистральные электрические сети; АРМ ПС – автоматизированное рабочее место оперативного персонала подстанции; МПЛ – метеорологический пост ВЛ; КС – канал связи; БД МП – статистическая база данных метеопараметров

– нижний уровень – уровень сбора и первичной обработки метеоданных. Уровень реализуется собственно автоматизированными метеопостами;
– средний уровень – уровень обработки данных для информационного обеспечения персонала оперативного управления на подстанциях и передачи данных на верхний уровень. Уровень может быть реализован в рамках существующих АСУ ТП ПС и инфраструктуры телемеханической сети НЭК «Укрэнерго»;
– верхний уровень – уровень обработки, хранения и накопления стати-

стических баз данных, поступающих со всей территории электрических сетей.

Первичные данные о текущих метеопараметрах с метеопостов СВАМ нижнего уровня поступают на автоматизированное рабочее место (АРМ) дежурного в системе АСУ ТП подстанции (средний уровень).

При этом наиболее важной задачей на нижнем уровне является регистрация возникновения гололедной ситуации и начала образования ледового покрытия [3], другими словами, необходимо устройство предупредительной сигнализации о появлении гололеда.

Применение сигнализатора гололедно-изморозевых образований (ГИО) вызвано в первую очередь тем, что любые измерители массы ГИО имеют зону нечувствительности при малых отложениях гололеда, и поэтому они не могут фиксировать начальный этап образования ГИО. Дополнительно, сигнализатор ГИО будет исключать ложное срабатывание измерителя массы ГИО в случаях попадания на измеритель случайных предметов не гололедного происхождения (например, птиц).

Существующие в настоящий момент датчики возможного образования гололеда в подавляющем числе случаев используют конструктивно-механическую часть ВЛ в качестве элемента собственно датчика (введение в подвеску провода механических, магнитных либо других датчиков, сооружение контрольных пролетов вдоль ВЛ и т.п.). Подобный подход требует перемонтажа участков ВЛ, индивидуальной «настройки» измерений при очень низкой их точности. Также необходимо отметить, что одним из конструктивных элементов таких датчиков является устройство, на котором образуется слой льда, требующий плавления. Естественно, что эта операция не может быть выполнена мгновенно, поэтому после появления гололеда скорость передачи информации значительно падает. Кроме того, функционирование всех известных датчиков требует наличия в их составе нагревательных элементов, потребляющих определенное количество электроэнергии. Поэтому создание систем контроля за образованием гололеда, которые обладают высокой чувствительностью, безинерционны, потребляют мало энергии, является достаточно актуальной задачей.

В последнее время все более широкое распространение в различных областях науки и техники находят приборы, использующие сверхвысокочастотную (СВЧ) электромагнитную энергию. При этом уровни мощности зависят в значительной степени от задач, стоящих перед каждым конкретным устройством. В том случае, когда речь идет об определении электрофизических характеристик вещества, то различные типы таких приборов работают, в основном, используя низкие уровни энергии [4,5].

Существует возможность практически мгновенно определять характеристики атмосферного воздуха, которые коррелируют с началом появления обледенений. Речь идет о такой характеристике как диэлектрическая прони-

цаемость и тангенс угла диэлектрических потерь воздуха. Учитывая, что приближение момента льдообразования связано с вполне определенной концентрацией влаги в воздухе и его температурой, а это, в свою очередь, непосредственно связано с электрофизическими характеристиками воздуха, возможно использование резонансных устройств, параметры которых напрямую связаны с этими характеристиками. Иными словами, речь идет о резонансных измерителях диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь окружающей воздушной среды.

Принцип работы таких устройств заключается в том, что при помещении в данный резонатор какого-либо вещества, его резонансная частота и добротность меняется. По сдвигу этой частоты и добротности можно произвести измерение как действительной, так и мнимой части диэлектрической проницаемости, которая зависит от структуры, состава, плотности и других параметров этого вещества.

Резонаторные элементы в СВЧ диапазоне длин волн имеют высокую добротность, Тема: обладают достаточно высокой чувствительностью, действуют мгновенно, не требуя времени на перестройку. Скорость обработки информации будет зависеть лишь от конечного устройства, отображающего эту информацию.

Электрофизические параметры воздуха существенно зависят от метеорологических условий (температуры, влажности, давления, скорости ветра) (см. рис. 2; табл. 1, 2). Состояние атмосферы, при котором возможно образование гололеда, описывается своим вполне определенным набором указанных характеристик. Следовательно, сдвиг резонансной частоты и добротности резонатора будет давать мгновенную информацию о динамике происходящих в атмосфере изменений.

Таблица 1 – Зависимость диэлектрической проницаемости воздуха от температуры при p = 0,1 МПа

Температура		Диэлектрическая проницаемость ε
°С	К	
+60	333	1,00052
+20	293	1,00058
-60	213	1,00081

Таблица 2 – Зависимость диэлектрической проницаемости воздуха от относительной влажности (при p = 0,1 МПа и t = 20°С)

Относительная влажность, %	0	50	100
Диэлектрическая проницаемость	1,00058	1,00060	1,00064

Как известно, чувствительность подобных резонаторов повышается с увеличением частоты, на которых они работают. Естественно, что в этой

связи наиболее предпочтительным является миллиметровый диапазон длин волн, для которого характерны небольшие размеры всех СВЧ элементов, возможность использования стандартных комплектующих, незначительная цена и небольшая потребляемая мощность.

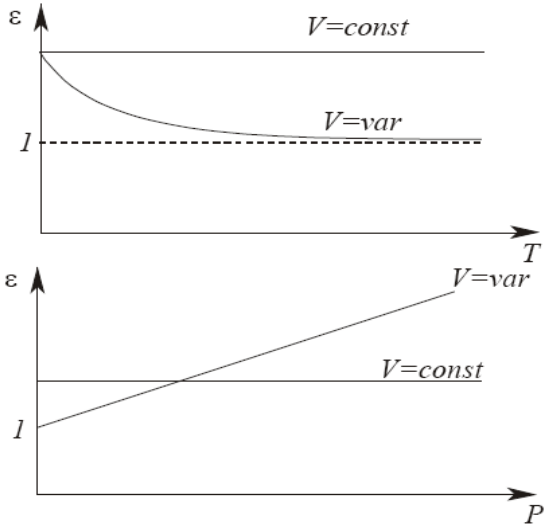

Рисунок 2 – Зависимость диэлектрической проницаемости газов от температуры и давления

Однако создание подобных измерительных элементов требует решения одной, весьма существенной, задачи – в резонатор должен постоянно поступать окружающий его воздух. Иначе говоря, вход в резонатор для воздуха должен быть свободным. Данная задача является достаточно наукоемкой для техники СВЧ, и осложняется вопросами безопасности в окрестностях излучателя. Дело в том, что любое отверстие в резонаторном элементе является источником излучения, которое не является безопасным. С другой стороны наличие отверстия резко снижает добротность и, следовательно, чувствительность резонатора, что нежелательно. Следовательно, создание высокочувствительных датчиков, контролирующих возможность образования гололеда и использующих сверхвысокочастотную технику с открытыми резонаторами, требует решения целого ряда вопросов как теоретического, так и практического характера [6,7].

На основании вышеизложенного можно сформулировать основные направления научных исследований, необходимые для решения рассматриваемой задачи:

– построение и реализация математических моделей распределения

внутренних электромагнитных полей в открытых резонаторах переменного сечения с описанием зависимости амплитуды и фазы внутренних полей в различных его сечениях;
- оценка связи электрофизических характеристик заполнения резонатора с изменением его резонансной частоты и добротности с учетом оптимального определения необходимых характеристик воздушной среды;
- обоснование принципов построения радиотехнических схем, контролирующих и управляющих работой резонансной системы;
- проведение экспериментальных исследований, имеющих целью проверку достоверности полученных теоретических результатов и обоснованных технических решений;
- выполнение макетирования элементов и всей системы в целом.

Выводы

1 Существующая аппаратура для контроля процесса гололедо-изморозевых отложений не эффективна для раннего обнаружения ГИО на ВЛ электропередачи.

2 Необходима разработка современных контролирующих метеорологических систем, основанных на определении электрофизических характеристик атмосферного воздуха, построенных и обоснованных на математических моделях и технических требованиях к этим системам.

Список литературы: 1. *Оганесян П.С.* О некоторых вопросах организации инструментальных наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями // Труды межведомственного совещания по гололеду. – М.: ГГО. – 1970. – С. 65-66. **2.** *Смирнов С.А.* Методика гололедных наблюдений на сети гидрометеорологических станций и постов ГУТМС // Труды межведомственного совещания по гололеду. – М.: ГГО. – 1970. – С. 5-8. **3.** *Шевченко С.Ю., Волохін В.В.* Оцінка можливості використання даних державних метеостанцій для контролю стану об'єктів електричних мереж // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – № 21 – С. 143-147. **4.** *Богородский В.В., Гаврило В.П., Недошивин О.А.* Разрушение льда. Методы, технические средства. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 232 с. **5.** *Зайцев Ю.В., Кустов Е.Ф., Кузищина Т.К.* Физико-химические свойства элементов проводников. – М.: Издательство МЭИ, 2002. **6.** *Харвей А.Ф.* Техника сверхвысоких частот. – М.: Сов. радио, 1965. – 783 с. **7.** *Гришин А.И., Матвиенко Г.Г., Романовский О.А., Харченко О.В.* Лидерные методы измерения метеорологических величин и их аппаратурная реализация // Метеорология и гидрология. – 2001. – № 4. – С. 87-96.

Поступила в редколлегию 24.10.2008.