

Авторы:

д.т.н. Булычев А.В.,
ООО «НПП Бреслер»,
г. Чебоксары, Россия.
Александров А.С.,
ПАО «Россети Волга»,
г. Саратов, Россия.

D.Sc. Bulichev A.V.,
«NPP Bresler» LLC,
Cheboksary, Russia,
Alexandrov A.S.
PJSC «Rosseti Volga»,
Saratov, Russia.

УПРАВЛЕНИЕ УДАЛЕНИЕМ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРОВОДАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

MANAGEMENT OF THE REMOVAL OF ICE AND FROST DEPOSITS ON THE WIRES OF OVERHEAD POWER LINES

Аннотация: проведен обзор основных применяемых способов ликвидации гололеда на проводах воздушных линий электропередачи (ВЛ). Рассмотрены существующие мероприятия по автоматизации систем управления в схемах плавки гололедно-изморозевых отложений (ГИО) в высоковольтных и распределительных электрических сетях. Представлена структура комплексной автоматизированной системы мониторинга, локализации и ликвидации гололеда, предназначенная для автоматического, непрерывного измерения и учета внешних и внутренних воздействий на линии электропередачи на основании прогноза изменения метеопараметров. Показана эффективность создания мобильной установки плавки гололеда на ВЛ напряжением 0,4-6-10 кВ на базе передвижной электроустановки обратной трансформации с единой системой управления, и интеграция данной установки в комплексную автоматизированную систему мониторинга, локализации и ликвидации гололеда для определения оптимальных параметров работы.

Ключевые слова: удаление гололедно-изморозевых отложений, системы прогнозирования, автоматизация систем управления, повышение эффективности.

Abstract: a review of the main methods used to eliminate ice on the wires of overhead power lines. Existing measures for the automation of control systems in the schemes for melting ice-frost deposits in high-voltage and distribution electrical networks are considered. The structure of a complex automated system for monitoring, localization and removal of ice is presented, designed for automatic, continuous measurement and accounting of external and internal impacts on power lines based on the forecast of changes in meteorological

Введение

Нарушение электроснабжения потребителей может привести к значительному экономическому и социальному ущербу. Поэтому готовность к эффективной ликвидации последствий чрезвычайных и нештатных ситуаций на электросетевых объектах является особо важной задачей для энергетических компаний. Одним из распространенных опасных воздействий на объекты электросетевого хозяйства являются воздействия, вызванные погодными явлениями, в том числе в результате взаимодействия теплых и холодных воздушных масс. Результатом такого взаимодействия являются довольно частые туманы и, как следствие, оседание капель воды на поверхность, с последующим образованием гололедных отложений на проводах и тросах ВЛ, металлоконструкциях и оборудовании подстанций (ПС). Отложение снега и льда на объектах электросетевого хозяйства приводит к изменению норми-

рованных массогабаритных параметров оборудования, и, как следствие, к нарушению нормальной работы электрической сети, вызванной недопустимым сближением, раскачиванием, ожогами, ухудшением свойств изоляции и обрывами проводов, короткими замыканиями (КЗ). Кроме того, опасные климатические воздействия могут приводить к разрушению опор ВЛ в результате неуравновешенных тяжений, совместного воздействия бокового ветра и гололеда. Наиболее аварийно-опасными являются экстремальные метеорологические воздействия в виде сочетаний гололедных и ветровых нагрузок на провода и грозотросы ВЛ. Чрезмерные гололедно-ветровые нагрузки вызывают аварии, которые одновременно охватывают большие районы, имеют массовый характер и потому приносят значительный материальный ущерб.

В целях повышения наблюдаемости и оперативной управляемости электросетевого комплекса в условиях воздействия

неблагоприятных климатических факторов особо важной задачей становится правильная организация мероприятий по ликвидации ГИО либо недопущению образования гололёдных масс на проводах и грозозащитных тросах ВЛ. Одним из основных мероприятий по ликвидации гололеда является организация плавки гололеда, параметры которой определяются на основании характеристик самой ВЛ и состояния окружающей среды. Основанием для организации плавки гололеда на ВЛ являются исторические данные по гололедообразованию [1]. Однако периодические изменения климатических условий приводят к появлению новых территорий, в которых возможно возникновение гололедных образований и налипание мокрого снега на конструкциях. Необходимо отметить, что наличие ветровой нагрузки в совокупности с гололедным воздействием усложняет негативное влияние на объекты электросетевого хозяйства. Соответственно при организации мероприятий по ликвидации ГИО основной проблемой является правильная идентификация физических параметров погодных явлений и степени их влияния на электросетевые объекты, а также техническое состояние ВЛ и ПС. Разработка комплексной системы ликвидации гололеда, с учетом фактических характеристик окружающей среды, позволит решить данную задачу.

Мероприятия по ликвидации ГИО на ВЛ

Отложение гололеда, изморози и мокрого снега представляет большую опасность для нормальной эксплуатации ВЛ (рис. 1). В целях ликвидации гололеда на ВЛ нормативными документами [1, 2, 3] рекомендовано проводить мероприятия по его удалению. В электрических сетях преимущественно используется метод плавки ГИО переменным током [2] и постоянным током [3]. В целях выбора мероприятий по организации ликвидации гололеда проводится разработка региональных карт климатического районирования и дальнейшая их актуализация с периодичностью

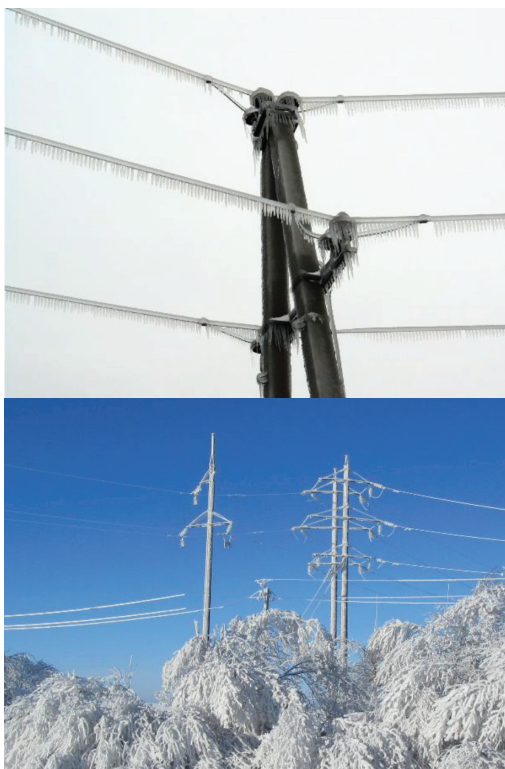


Рис. 1. Примеры ГИО на ВЛ

не реже 1 раза в 10 лет либо при наличии не менее двух фактов отключения ВЛ классом напряжения 110 кВ и выше за гололедный сезон от воздействия гололеда в III, II или I гололедном районе не менее чем в двух гололедных сезонах за 5 лет [1].

Выбор метода удаления гололеда на ВЛ должен определяться с учетом территории размещения и условий работы данной ВЛ, на основании технико-экономических параметров. В целях удаления ГИО на проводах ВЛ применяют различные методы и способы (рис. 2).

parameters. The efficiency of creating a mobile installation for melting ice on a 0.4-6-10 kV overhead line based on a mobile reverse transformation electrical installation with a single control system, and integrating this installation into a comprehensive automated system for monitoring, localizing and eliminating ice to determine the optimal operating parameters, is shown.

Keywords: removal of ice and frost deposits, forecasting systems, automation of control systems, increasing efficiency.



Рис.2. Способы ликвидации ГИО на проводах ВЛ



Булычев Александр Витальевич

В 1980 г. окончил Вологодский политехнический институт по специальности «Электроснабжение промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства», инженер-электрик. В 1984 г. окончил аспирантуру и защитил кандидатскую диссертацию по разработке и исследованию отдельных узлов комплексной (микроэлектронной) системы защиты турбогенераторов. В 1998 г. окончил докторантуру и защитил докторскую диссертацию на тему «Совершенствование защит блоков генератор-трансформатор и электродвигателей». Технический директор ООО «НПП Бреслер», профессор.

Способы удаления гололеда на проводах и тросах воздушных линий: *Механический способ*

Наиболее простым способом удаления ГИО является обивка с использованием длинных бамбуковых или стеклопластиковых шестов для проведения боковых ударов по обледеневшим проводам. Под действием возникающих от ударов волновых колебательных движений происходит нарушение целостности гололедной корки и осыпание отложений с проводов. Обивка гололеда шестами происходит с земли или вышек. Однако данный способ требует привлечения большого количества персонала. При этом он эффективен не для всех видов ледообразования. Кроме того повышается риск электротравматизма при ошибочных действиях работников.

Существует механизированный способ удаления гололеда с использованием ледорезов. Такие приспособления для удаления льда цепляют за провод, перемещают ледорез по проводу, и за счет специальных ножей происходит разрушение гололедных отложений и очищение. В основном ледорезы используют с применением штанги и транспортных средств [4].

Роботизированный способ

В последнее время для освобождения от гололедной муфты применяют специальные роботы-ледорезы [5] и квадрокоптеры для перемещения их вдоль линий. Однако роботизированные комплексы отличаются дороговизной и требуют присутствия человека в месте проведения работ по удалению гололеда с проводов.

Электромеханический способ

Для борьбы с гололедом в электросетевом комплексе также применяют электро-механические изделия, которые создают вибрационное воздействие на провод. Механические колебания могут быть созданы в результате пропускания через провод импульсного тока с определённой частотой, который создает электродинамическое воздействие на провод и «стряхивает» гололедные отложения. Либо используют устройство, в котором магниты, под действием создаваемого ими магнитного поля и переменного тока протекающего в проводе, создают колебательные удары. Такие устройства могут работать в постоянном

режиме продолжительный период времени, предотвращая образование гололеда. При этом постоянные вибрационные и ударные воздействия могут привести к потере механической прочности проводов и линейной арматуры.

Физико-химический способ

Известен способ, при котором защита от налипания снега и льда обеспечивается путем нанесения на провод специальных гидрофобных покрытий или жидкостей с низкой температурой замерзания. Такие жидкости обеспечивают снижение степени контактирования поверхности провода с водой, снижая или предотвращая образования ледяной муфты. Такой способ требует значительных трудозатрат для нанесения покрытий на провод по всей длине ВЛ. Кроме этого, в качестве одного из способов предотвращения образования гололеда в настоящее время применяют провода, скрученные из Z-образных проволок [6]. Такая конструкция провода практически не имеет на поверхности зазоров, а внутри заполнена специальной смазкой, что исключает наличие пространства для скопления воды и снега.

Электротермический способ

Одним из наиболее распространённых методов удаления ГИО является расплавление гололеда за счет нагрева провода путем искусственного повышения тока в нем. Для плавки электротермическим способом провод нагревают токами до температуры 100-120 °С. Для этой цели используют источники переменного или постоянного тока [4]. Физика процесса плавки гололеда довольно проста, и обусловлена нагревом проводника в результате взаимодействия движущихся электронов с атомами в проводнике. При этом количество выделяемой теплоты прямо пропорционально величине сопротивления проводника. Соответственно основными параметрами для электротермического способа ликвидации гололеда является ток и напряжение. При плавке гололеда переменным током в качестве источника используют одну из ячеек ПС. Наиболее просто плавка переменным током реализуется методом КЗ, когда линия закорачивается с одного конца, а с другого подается напряжение. Различают следующие схемы закорачивания линии: трехфазное КЗ, двухфазное КЗ, однофазное КЗ при по-

следовательном соединении проводов всех фаз (схема «змеяка»). Кроме схемы КЗ, существуют способы встречного включения фаз источников, плавка по способу перераспределения нагрузок, плавка по способу наложения токов. Плавка переменного тока используется для линий небольшой длины и напряжением выше 220 кВ, а также для длинных линий, где требуется более мощный источник тока, используют плавку гололеда постоянным током. Для плавки гололеда постоянным током применяют источник питания и выпрямительную установку (диодный мост). Используют разные схемы закорачивания линии: «фаза-фаза» и «фаза-две фазы», при этом в обоих случаях в роли обратного проводника выступает земля.

Также существует комбинированный способ плавки гололеда, в котором используют одновременно переменный и постоянный ток, сочетающий в себе положительные стороны обоих способов.

В последнее время, наравне с плавкой переменным током с частотой 50 Гц и постоянным током ($f=0$ Гц), появляются способы плавки гололеда током низкой частоты (с частотой менее 0,1 Гц) и током высокой частоты (с частотой более 100 МГц). При способе плавки гололеда током низкой частоты ток в проводах линии ограничивается только активным сопротивлением, что увеличивает протяженность проплавляемого участка ВЛ [7]. Одним из интересных вариантов плавки гололеда является способ, предложенный профессором В.И. Кагановым, который заключается в использовании токов высокой частоты для создания скин-эффекта и эффекта бегущей волны для разогрева проводов [8].

Отдельно необходимо отметить важность профилактического прогрева провода, при котором провод нагревается до температуры выше 0°C , что не позволяет образовываться гололёду. Основное достоинство профилактического прогрева является возможность использования схем, которые не требуют отключения потребителей [9].

Существует способ, который включает в себя элементы электротермического и электромеханического методов. Он заключается в предварительном прогреве провода и последующем пропускании сильного импульса тока, создающего электромеханическое воздействие на провод. Сочетание

методов повышает эффективность плавки гололеда [7].

Хорошие перспективы открывает применение мобильных установок для плавки гололеда, как в сетях 110 кВ и выше, так и в сетях 0,4–6–10 кВ, позволяющих более избирательно и точно реализовывать процесс плавки ГИО.

Развитие автоматизации в системах управления плавки гололеда

Электроэнергетика является одной из первых отраслей, использующих в развитии автоматизацию производственных процессов. Данная особенность сформировалась в виду сложности технологий эксплуатации электросетевых объектов, а также в результате исторических аспектов развития энергетических систем, в том числе с учетом того, что сами процессы производства, распределения и потребления электроэнергии являются автоматизированными. Дальнейшее развитие электроэнергетики в современных условиях возможно только с применением новых автоматизированных систем управления, которые применяются для автоматизации всех основных процессов. Вопросы автоматизации затронули системы плавки ГИО. С учетом развития информационных технологий проводится разработка современного оборудования и систем для плавки гололеда. Основной целью создания современных систем плавки гололеда является повышение эффективности деятельности электросетевых компаний по ликвидации технологических нарушений.

Организация схем плавки ГИО в высоковольтных сетях

В электрических сетях напряжением 220 кВ и выше в основном используют плавку гололеда постоянным током, при этом источником питания служит специальная выпрямительная установка (ВУ). В электрических сетях напряжением 35–110 кВ в качестве источника питания используют шины 6–35 кВ или отдельный трансформатор. В основном плавка осуществляется путем создания искусственного КЗ на ВЛ. В качестве стационарных «закороток» используются заземляющие ножи разъединителей линии ВЛ или систем шин (переключательные пункты). Основное направление развития систем плавки гололеда в высоковольтных сетях направлено на автоматизацию



Александров Александр Сергеевич

В 2005 г. окончил Саратовский государственный технический университет по специальности «Электроснабжение». Аспирант ЧГУ им. И.Н. Ульянова. Заместитель начальника отдела инновационного и научно-технического развития ПАО «Россети Волга».

процесса плавки, совершенствование оборудования ВУ, разработку способов интеграции мониторинга гололедообразования и систем плавки ГИО. Примерами новых разработок является система плавки ГИО в автоматическом режиме без отключения потребителей от источника питания [9], а также интеллектуальная система плавки гололеда на проводах и грозозащитных тросах ВЛ с использованием универсальной установки плавки гололеда с тиристорным коммутатором [10].

Организация схем плавки ГИО в распределительных сетях

В распределительных электрических сетях напряжением 6-10 кВ используется плавка переменным и постоянным током с помощью стационарных и мобильных устройств плавки гололеда. Однако, учитывая значительную разветвлённость сетей 6-10 кВ, для организации плавки требуется создание искусственного КЗ практически в каждой линии [11]. В качестве стационарных «закороток» используются разъединитель или выключатель. Плавка ГИО на проводах ВЛ напряжением 0,4 кВ не производится, так как для реализации схем плавки необходима установка коммутационных аппаратов на ВЛ 0,4 кВ для сборки схемы плавки, а также для отключения потребителей от сети, число которых может составлять нескольких десятков, что приводит к усложнению схемы распределительной сети. Поэтому вопросы автоматизации схем плавки ГИО в сетях 0,4-6-10 кВ, направленные на повышение эффективности технологических процессов, являются актуальными.

При организации плавки гололеда в сетях 6-10 кВ с использованием традиционных схем, диспетчер районных электрических сетей направляет одну оперативно-выездную бригаду (ОВБ) на сборку схемы плавки на питающую ПС, а другую ОВБ на конец участка проплавляемой ВЛ для проведения оперативных переключений (для установки «закоротки» или включение разъединителя плавки). После сборки схем плавки персонал ОВБ обеспечивает визуальный контроль проплавляемого участка линии, в целях снижения риска пережога провода. Итого для обеспечения плавки ГИО на одной линии задействован персонал диспетчерской службы и две бригады ОВБ, что приводит к значительным эксплуатационным расходам на ГСМ, а также отсутствию достоверной информации о процессе проплавки на всем протяжении линии. Соответственно возник вопрос поиска механизмов, которые позволят повысить эффективность организации схем плавки гололеда на ВЛ. Одним из таких механизмов повышения эффективности плавки является внедрение автоматизации с использованием кибернетических подходов. Такие подходы предусматривают создание систем управления с разомкнутой или замкнутой системой связи (рис. 3).

При построении схем с разомкнутой системой связи продолжительность плавки ГИО обычно ограничива-

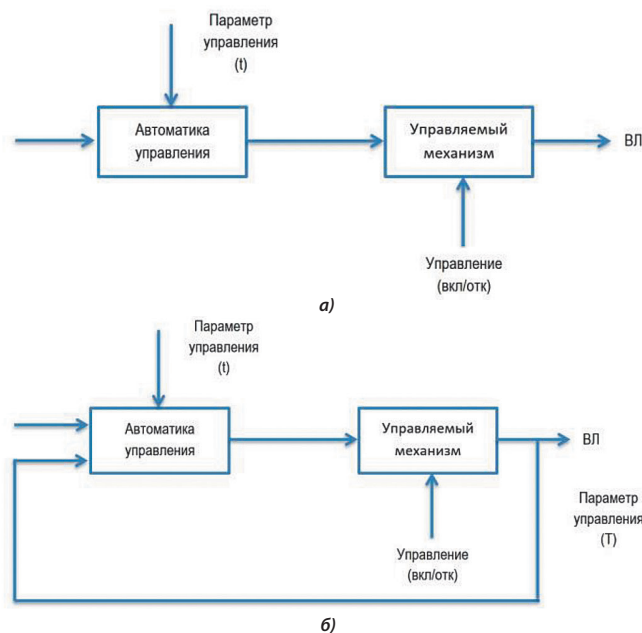


Рис. 3. Схемы систем управления с разомкнутой (а) или замкнутой (б) системой связи

ют временем (не более 60 мин), воздействуя непосредственно на управляемое (коммутационное) устройство в заданный период времени. Данная схема более проста в реализации и не требует дополнительных механизмов, усложняющих общую схему. Однако данный подход имеет существенный недостаток, связанный с отсутствием контроля состояния нагреваемого провода, что может привести к его перегреву. Для устранения данной проблемы необходима рабочая информация, на основании которой будут приниматься решения системой автоматического управления процессом плавки. Такой информацией выступает температура провода и ток плавки гололеда. Температуру можно контролировать непосредственно установкой температурных датчиков на провода, либо расчётным путем, измеряя величину тока в проводе. Наличие данных о температуре провода и токе плавки гололеда позволяет реализовать схему с замкнутой системой управления, в которой рабочая информация о состоянии провода в виде сигналов по цепи обратной связи передается на управляемое устройство, ограничивая время и параметры проведения плавки. Применение замкнутой системы управления позволило значительно повысить эффективность управления плавкой гололеда.

Одной из наиболее применяемых систем является схема, реализованная с обратной связью по температуре. Температура провода определяется с помощью специальных датчиков, установленных в начале и конце проплавляемого участка ВЛ. Наличие соответствующей информации позволяет контролировать процесс плавки гололеда.

Существуют и эффективно используются решения по построению автоматизированной системы плавки гололеда на базе интеллектуальных коммутационных аппаратов напряжением 6-10 кВ (рис. 4). Интеллектуальный коммутационный аппарат оснащен многофункциональной автоматикой, что позволяет реализовать его управление в местном и дистанционном режимах, а также позволяет отключать ВЛ в случае аварии и технологических нарушениях. Кроме того, за счет небольших массогабаритных параметров, размещение интеллектуальных коммутационных аппаратов возможно непосредственно на опоре ВЛ. Данные свойства позволили успешно использовать интеллектуальные коммутационные аппараты в распределительных сетях, в том числе для построения схем плавки гололеда.

Основа технологического процесса плавки гололеда заключается в том, что в зависимости от изменения сопротивления провода ВЛ, изменяется величина тока. В алгоритме расчета параметров плавки гололеда используются данные о протяженности и сечении проводов, а также о значении предельно-допустимого тока. Для контроля величины тока плавки используются измерительные органы интеллектуальных коммутационных аппаратов, к которым подключен контроллер, интегрированный в программное обеспечение. Для организации плавки по команде диспетчера включается интеллектуальный коммутационный аппарат, который создает трехфазное КЗ. Со стороны питания подается ток плавки, рассчитанный для участков ВЛ от источника питания до места КЗ. В процессе плавки проводится непрерывный контроль протекающего через коммутационный аппарат тока и высчитывается изменение температуры нагрева проводника от изменения тока КЗ. При достижении температуры провода 100 °С интеллектуальный коммутационный аппарат отключается, прекращая работу линии в режиме КЗ. При необходимости продолжения процесса плавки коммутационный аппарат снова включается по заранее заданному алгоритму. При этом управление коммутационным аппаратом может осуществляться дистанционно или в автоматическом режиме. Связь оборудования с диспетчерским пунктом в основном осуществляется посредством GSM модема. Контроль процесса плавки диспетчером осуществляется в виде графических и табличных данных.

Преимуществом использования системы плавки гололеда на базе интеллектуальных коммутационных аппаратов с дистанционным управлением и автоматической системой контроля процесса плавки является

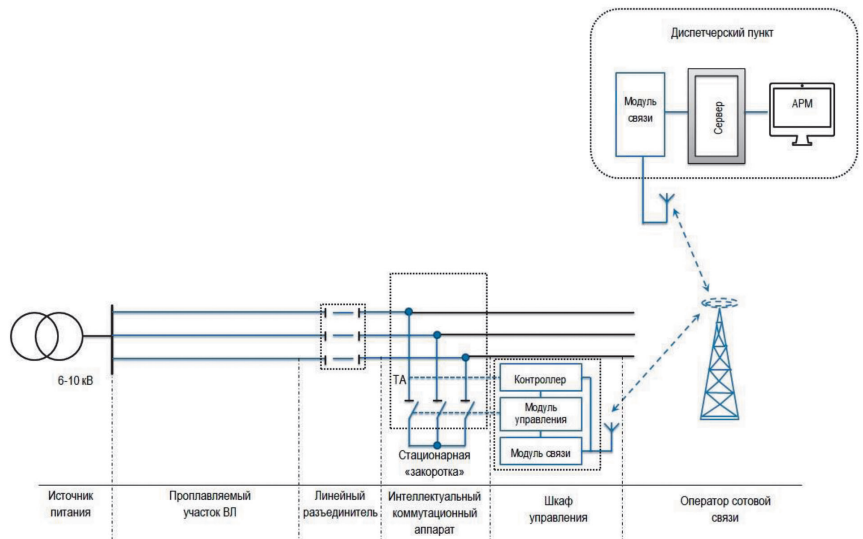


Рис. 4. Схемы автоматизированной системы плавки гололеда в сетях 6-10 кВ

отсутствие необходимости выезда персонала на ВЛ для установки «закоротки» или включения разъединителя плавки, а также отсутствие необходимости перевода питания ВЛ с линейной ячейки на ячейку плавки гололеда. Автоматизированный режим контроля плавки гололеда позволяет снизить трудозатраты и операционные издержки. Недостатком таких систем управления является их относительная дороговизна реализации, необходимость установки коммутационных аппаратов на каждой линии.

Создание комплексной автоматизированной системы мониторинга, локализации и ликвидации гололеда

Дальнейшим этапом развития автоматизированных систем плавки гололеда является создание комплексных систем прогнозирования появления опасных погодных условий и ликвидации ГИО.

Известно, что гололед является атмосферным воздействием, образующимся на поверхности земли и на предметах при замерзании на них переохлажденных капелек тумана или дождя. Образование гололеда в основном фиксируется при температурах воздуха от 0 до -7 °С, а также в момент перемещения воздуха в горизонтальном направлении (адвекции). Учитывая знания о физических свойствах появления гололеда, в настоящее время происходит интенсивная разработка современных систем прогнозирования гололедообразования.

В электросетевых компаниях уже существует опыт применения различных систем мониторинга гололедообразования на ВЛ (система мониторинга интенсивности гололедообразования «СК-21», автономная система телеметрии гололедно-ветровых нагрузок «СТГН», автоматизированная информационная система контро-

ля гололедной нагрузки (АИСКГН) и др.) [12]. В работах Д. Титова [13, 14] приводится взаимосвязь гололедообразования и температуры провода, температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра, напряжённости электрического поля. На основании данных исследований разработано и используется электросетевыми компаниями система мониторинга интенсивности гололедообразования «МИГ».

Другим направлением развития является разработка и совершенствование способов локализации гололеда. В настоящее время в электрических сетях используют следующие методы мониторинга и контроля гололедообразования на проводах ВЛ:

- визуальное наблюдение;
- датчики гололедообразования (гололедной нагрузки);
- локационный метод обнаружения гололеда на ВЛ;
- метеомониторинг и автоматические метеостанции (датчик температуры и влажности, датчик скорости и направления ветра, датчик контроля температуры провода).

Необходимо отметить, что комплексная система мониторинга, локализации и ликвидации гололеда должна включать одновременно интеллектуальные схемы плавки ГИО на высоковольтных и распределительных ВЛ, а также систему метеомониторинга и прогнозирования ГИО (на базе технологий предиктивной аналитики). Так, появление гололедных отложений на высоковольтных линиях с большой долей вероятности прогнозирует образование ГИО и в распределительных сетях. А система прогнозирования ГИО позволит заблаговременно подготовиться к ликвидации опасных погодных явлений. Кроме того, возможна интеграция комплексных систем с существующими коммерческими системами прогнозирования и визуализации метеоусловий. Создание на базе таких систем интеллектуальной платформы (рис. 5) для прогнозирования и ликвидации ГИО будет иметь синергетический эффект, выраженный в повышении эффективности работы электросетевых компаний.

Современные исследования в области управления удалением ГИО на проводах ВЛ направлены на создание инновационных технологий по комплексной автоматизации процесса мониторинга погодных условий, обнаружения и предотвращения гололедообразования. При этом основные усилия направлены на разработку многоуровневой цифровой информационно-вычислительной системы, обеспечивающей непрерывный контроль в реальном масштабе времени (либо с заданной периодичностью) метеопасных явлений. Современная система мониторинга и предотвращения гололедообразования представляет собой телеметрическую систему, предназначенную для



Рис. 5. Схема комплексной автоматизированной системы мониторинга, локализации и ликвидации гололеда

автоматического, непрерывного измерения и расчёта внешних и внутренних воздействий на ВЛ, и реагирования на изменения режимов работы сети в соответствии с сформированными на основании прогноза изменениями метеопараметров. Перспективно видится использование в современных системах мониторинга, локализации и ликвидации гололеда реализации следующих функций:

- автоматизированный процесс сборки схемы плавки гололеда и восстановления схемы нормального режима сети с предиктивной логикой функционирования;
- плавка гололеда без отключений потребителей;
- наличие возможности выполнения плавки гололеда одновременно нескольких ВЛ от одного источника питания;
- раннее обнаружение, определение направления развития гололедообразования;
- автоматизированный процесс регулировки тока плавки (обратная связи по параметрам ВЛ в режиме реального времени);
- применение современных систем релейной защиты схем плавки гололеда [15].

Выводы

1. Для создания современных систем мониторинга и предотвращения гололедообразования необходимо применять комплексный подход, который позволит объединить наиболее эффективные методы локализации и ликвидации ГИО. Система плавки гололеда в высоковольтных и распределительных электрических сетях должна функционировать на основе анализа метеоданных, выполненного системой мониторинга и прогнозирования погодных условий. Результаты данного анализа позволят сформировать необходимую базу данных для систем управления удалением ГИО, повысив эффективность подготовки и проведения мероприятий по ликвидации гололедных отложений.

2. Выбор схемы для организации ликвидации ГИО необходимо осуществлять на основании технико-эко-

номического анализа, с учетом обеспечения необходимой надежности электроснабжения потребителей. Для высоковольтных сетей напряжением 110 кВ и выше наиболее рационально применение стационарных систем плавки ГИО, с автоматизацией процессов сборки схем, проведения и контроля процесса плавки. В распределительных сетях напряжением 6-10-35 кВ для наиболее ответственных ВЛ обосновано применение стационарных схем плавки гололеда, выполненных на основе интеллектуальных коммутационных аппаратов с автоматизированной системой контроля и управления. В электрических сетях напряжением 0,4-6-10 кВ, характеризующихся значительной разветвленностью, целесообразно применение мобильных установок плавки ГИО. Такие установки должны иметь автоматизированную систему управления процессом плавки с контролем всех необходимых параметров работы, также обеспечивать подбор необходимых параметров источника питания в зависимости от длины прогреваемого участка, что позволит эффективно использовать их без необходимости проведения дополнительных сложных расчетов для каждой линии.

3. Размещение мобильных установок плавки ГИО на базе высокопроходимой техники обеспечит применение их в любых условиях эксплуатации. Источником электроэнергии в таких мобильных системах в основном является дизель-генераторная установка (ДГУ), что позволяет применять мобильную установку плавки ГИО в качестве резервного источника для питания потребителей. Для обеспечения электроснабжения большего количества потребителей от одной единицы ДГУ предполагается использовать совместно с источником электроснабжения мобильный повышающий трансформаторный пункт. Это позволяет от ДГУ с напряжением 0,4 кВ выдавать мощность в сеть 6(10) кВ, подключая потребителей нескольких ТП, РП, КТП, ЗТП со стороны 6(10) кВ. Соответственно актуальным является создание многофункциональной мобильной установки плавки гололеда на ВЛ на базе передвижной электроустановки обратной трансформации 0,4/10-6 кВ с единой системой управления. Преимущество данной установки обусловлено возможностью её использования для плавки ГИО на ВЛ, а также восстановления и обеспечения электроснабжения потребителей при аварийно-восстановительных и плановых ремонтных работах в электрической сети 0,4/6-10 кВ. Мобильные установки плавки гололеда могут быть эффективно интегрированы в структуру комплексной автоматизированной системы мониторинга и ликвидации ГИО. С помощью системы мониторинга и прогнозирования погодных условий, в том числе выполненные с использованием технологии ГЛОНАСС, возможно построение оптимальных маршрутов передвижения мобильной установки, а также выбор наиболее эффективных режимов работы плавки гололеда.

4. В совокупности современные технологии локализации и ликвидации гололеда позволяют повысить надежности и эффективность работы электросетевого комплекса, за счет автоматизации механизмов управления режимами работы электрической сети.

Литература:

1. Требования по плавке гололеда на проводах и грозозащитных тросах линий электропередачи. Утверждены приказом Минэнерго России от 19.12.2018 №1185 [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/552045909>
2. РД 34.20.511 (МУ 34-70-027-82) Методические указания по плавке гололеда переменным током (часть 1) [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200042643>
3. РД 34.20.511 (МУ 34-70-028-82) Методические указания по плавке гололеда постоянным током (часть 2) [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200042643>
4. Куликова Н.А. Плавка гололеда на проводах и тросах воздушных линий электрических сетей / Н.А. Куликова, О.Н. Титаренко // Энергетические установки и технологии. – 2017. – Т. 3. – № 3. – С. 45-50.
5. Volat C., Farzaneh M., Leblond A. De-icing/Anti-icing Techniques for Power Lines: Current Methods and Future Direction // IWAIS XI, Montréal, June 2005. [Электронный ресурс] https://www.researchgate.net/publication/235783169_De-icingAntiicing_Techniques_f.
6. Колесов И.Н. Гололедные образования на линии электропередач и методы борьбы с ними / И.Н. Колесов, А.Э. Богачев, Ю.В. Абрамов // Перспективное развитие науки, техники и технологий: сборник научных статей 11-ой Международной научно-практической конференции, Курск, 29 октября 2021 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 137-141.
7. Меладзе В.Р. Плавка гололеда на ВЛ переменным и постоянным током, комбинированный и ультразвукозачастотный методы / В.Р. Меладзе, Е.В. Стрикалова // Современные концепции и парадигмы образования в условиях мирового эпидемиологического кризиса: Материалы VI Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Ростов-на-Дону, 29 декабря 2020 года. – Ростов-на-Дону: Южный университет (ИУБиП), ООО «Издательство ВВМ», 2020. – С. 222-226.
8. Патент № 2356148 С1 Российская Федерация, МПК H02G 7/16. Способ и устройство для борьбы с гололедом на линиях электропередачи: № 2008119101/09: заявл. 15.05.2008: опубл. 20.05.2009 / В.И. Каганов; заявитель Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет) (МИРЭА).
9. Санакулов А.Х. Устройство автоматического управления удалением льда с проводов воздушных линий напряжением 110 кВ / А.Х. Санакулов, И.Р. Ахметзянов, К.З. Фатыхов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 5. – С. 74-76.
10. Интеллектуальная система плавки гололеда на проводах и грозозащитных тросах воздушных линий электропередачи ПАО «МРСК Юга» / И.И. Левченко, П.В. Гончаров, Е.И. Сацук, С.С. Шовкопляс // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2018. – № 1 (46). – С. 72-82.
11. Кирпичников В.В. Использование автоматики управления выключателем в процессе плавки гололеда в сетях 10(6) кВ / В.В. Кирпичников, В.В. Куприенко // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 01-03 февраля 2017 года / Оренбургский государственный университет. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. – С. 450-453.
12. Носенко А. Мониторинг метеорологических условий на энергообъектах распределительных сетей / А. Носенко, М. Панкратов, М. Шишков // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – №3 (22). – С. 16-26.
13. Титов Д.Е. Мониторинг интенсивности гололедообразования на воздушных линиях электропередачи и в контактных сетях: специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Титов Дмитрий Евгеньевич. – Саратов, 2014. – 22 с.
14. Использование тепло-балансного метода для прогнозирования гололедно-изморозевых отложений на проводах воздушных линий электропередачи / К.Г. Рубинштейн, Р.Ю. Игнатов, Ю.И. Юсупов, Д.Е. Титов // Энергия единой сети. – 2018. – № 2 (37). – С. 42-50.
15. Засыпкин А.С. м. Релейная защита схем плавки гололеда на стальных грозозащитных тросах воздушной линии электропередач / А.С. м. Засыпкин // Релейная защита и автоматизация. – 2019. – № 3 (36). – С. 8-12.