

УДК 621.315.1

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ МОНИТОРИНГА ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПРОЛЕТА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Панасенко М.В.

ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет» Камышинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: panasenkomp@mail.ru

Проведен краткий анализ различных способов и устройств мониторинга климатических нагрузок на провода и тросы воздушных линий электропередачи. В настоящее время известны несколько устройств частично или полностью решающих задачу обнаружения и распознавания видов отложений на проводах и тросах воздушных линий электропередачи. Главная задача всех устройств – это повышение эффективности измерений массы отложений при любых метеорологических условиях. Разработанные и внедренные устройства принципиально не позволяют на необходимом уровне решать задачи предотвращения гололедно-ветровых аварий. Системы мониторинга до сих пор не рассматриваются как средства обнаружения воздействий и распознавания их вида, распознавания вида отложений.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, мониторинг, гололед, способы и устройства контроля гололедообразования

ANALYTICAL REVIEW OF METHODS AND DEVICES FOR MONITORING THE INTERMEDIATE SPAN OF OVERHEAD POWER LINES

Panasenko M.V.

FGBOU VPO «Volgograd State Technical University» Kamyshin institute of technology (branch) of FGBOU VPO «Volgograd State Technical University», Kamyshin, e-mail: panasenkomp@mail.ru

The paper presents a brief analysis of the various methods and devices for monitoring of climatic stress on the wires and cables of overhead power lines. Now some devices partially or completely solving a problem of detection and recognition of types of deposits on wires and cables of overhead power lines of an electricity transmission are known. The main task of all devices is an increase of efficiency of measurements, weight of deposits at any weather conditions. The developed and introduced devices essentially don't allow at the necessary level to solve a problem of prevention of ice and wind accidents. Systems of monitoring still aren't considered as a sensor of influences and recognition of their look, recognition of a type of deposits.

Keywords: overhead power lines, monitoring, ice, ways and control units of icing

В настоящее время 90 – воздушных линий (ВЛ) электропередачи не оборудованы системами мониторинга, поэтому контроль за метеорологическими воздействиями ведется визуальным способом выездными бригадами служб сетевых районов, а передача полученной ориентировочной информации происходит имеющимися средствами связи. В соответствии с этим способом наблюдателем производится оценка: величины диаметра гололедной муфты, распределения отложений по пролетам ВЛ, вида отложений, направления и скорости ветра. Важно заметить, что при использовании такого перечня оцениваемых параметров и визуальной (приблизительной, качественной) оценке этих параметров только до 12–15 – всех проводимых в настоящее время плавков проводов именно тогда, когда отложения на проводах и грозотросах ВЛ, в сочетании с ветром, действительно могут разрушить линию (вероятность разрушения конструкции находится в пределах 0,80...1). Остальные же 75–80 – плавков являются, как правило, перестраховочными и упреждающими; даже, не-

смотря на это, при осуществлении такого большого количества перестраховочных и упреждающих плавков, проводимых чаще обоснованных (потребных) в 10–12 раз, не удается избежать разрушений опор и падений линий [1]. Также следует заметить, что в результате «перегрева» проводов и грозотросов происходит разрушение кристаллической решетки металлов, что приводит либо к необратимой деформации материала провода, либо в конечном итоге к его полному разрушению. Проведение большого количества необоснованных плавков объясняется не только и не столько большими ошибками субъективных визуальных оценок параметров отложений из-за практической не реализуемости принятых инструментальных методик, сколько в неправильном выборе параметров, по которым оценивают отложения.

Из теории механической прочности конструкции ВЛ известно, что разрушение наступает в случае превышения внешней силы, действующей на элемент конструкции, предела прочности этого элемента. При воздействии гололедно-ветровых на-

грузок на провода и грозотросы ВЛ внешней силой является суммарная сила, обусловленная весом отложений и неизменным (ламинарным) потоком ветра – статическая составляющая нагрузки; и обусловленная наличием отложений определенной формы и ветра определенной скорости и направления – динамическая составляющая нагрузки или пляска провода (грозотроса). В силу этого, при научно обоснованном прогнозе силового (разрушительного) воздействия отложений и ветра на ВЛ нужно, по крайней мере, измерять вес отложений, силу и направление ветра. Используя же визуальный способ, по приблизительным диаметрам муфт намерзаний оценивают только объем отложений. Именно такой подход и обуславливает такое большое число необоснованных плавков, т.к. удельный вес отложений в зависимости от условий их формирования отличается в 6–8 раз, а, следовательно, при одном и том же объеме отложений их силовое воздействие на ВЛ будет отличаться также в 6–8 раз [2]. К увеличению ошибок приводит также и то, что оценка объема ведется по разности диаметра провода и отложений на нем (модель отложений в виде полого цилиндра), притом, что фактически отложения не могут быть цилиндрическими и всегда имеют сложную неправильную форму. Кроме того, в принятой методике оценки не учитывается неравномерность толщины слоя отложений по длине пролета.

Таким образом, к главным недостаткам визуального способа можно отнести следующие: во-первых, то, что точность способа из-за визуальной оценки («на глаз») принципиально невысока; во-вторых, он требует непосредственного присутствия наблюдателя в месте контроля, что в условиях зимнего бездорожья, небольшой продолжительности светового дня, труднодоступности большинства участков линий значительно усложняет прогнозирование вида отложений на проводе, основанное на решении многомерной задачи термодинамического обменного процесса; в-третьих, практически не реализуем в условиях плохой видимости.

Анализируя всю известную до настоящего момента информацию об инструментальных параметрических способах и устройствах мониторинга гололедно-ветровых нагрузок на провода и грозотросы ВЛ, ее можно систематизировать по основным способам обнаружения отложений [6], основанным на измерениях:

- 1) веса провода с отложениями на нем;
- 2) плотности (проводимости) отложений на специальных поверхностях,

размещенных рядом с проводом ВЛ (на расстоянии обеспечивающим электробезопасность);

3) прогнозирования вида отложений на проводе, основанное на решении многомерной задачи термодинамического обменного процесса,

4) электрического потенциала наведенного в приемной антенне (грозотросе) от фазного провода;

5) разности напряженностей электрического поля в точке гололедной муфты и за ее пределами;

6) проводимости промежутка между датчиком и проводом;

7) светового потока, проходящего через отложения.

8) емкости «фаза-земля»;

9) приращения затухания непрерывных зондирующих ВЧ сигналов при прохождении их в проводе ВЛ за счет поглощения поверхностного электромагнитного ВЧ поля в неидеальном диэлектрике отложений;

10) временной задержки импульсных сигналов, отраженных от муфт отложений, относительно зондирующих сигналов и отношение амплитуд этих отраженных импульсов;

11) приращения волнового коэффициента затухания в полуволновом вибраторе, образованном короткозамкнутыми проводами расщепленной фазы, за счет отложений на нем.

Из всех известных более подробно в рамках данной статьи рассмотрены способы обнаружения отложений в промежуточном пролете ВЛ, исключены таким образом из рассмотрения последние четыре (8... 11) способа, опирающиеся на исследование всей линии. Из выбранных способов и реализующих их устройств, следует особо отметить близкие к реальному практическому внедрению.

1. Наиболее разработан и практически используется гравитационный способ обнаружения и измерения отложений на проводе промежуточного пролета, реализуемый посредством измерения гололедной и гололедно-ветровой нагрузок на провод с последующим сравнением измеренных величин с наперед заданными величинами пороговых нагрузок (значимых гололедных и гололедно-ветровых, опасных, допустимых нагрузок и т.д.) [9].

Известно устройство для измерения отдельно гололедной и ветровой нагрузок, основанное на вычислении гололедной и ветровой нагрузок по измеренным величинам гололедно-ветровой нагрузки и угла отклонения гирлянды изоляторов с проводом под действием ветра с помощью

трансформаторных датчиков [8]. Главным недостатком такого устройства является то, что оно автоматически не обнаруживает появление отложений на проводе, т.к. в нем нет порогового (сравнивающего) элемента и нет формирователя порога (задающего элемента). Кроме того, это устройство принципиально не работает в случае отсутствия тока нагрузки в фазном проводе, а также в случае плавки отложений на проводах постоянным током, т.к. электродвижущая сила в трансформаторе появляется при наличии переменного магнитного поля, вызванного переменным током.

Известно устройство для измерения отдельно гололедной, ветровой и гололедно-ветровой нагрузок с контролем направления ветра на ВЛ [3]. Оно содержит три силоизмерительных датчика, каждый из которых подвешен между траверсой П-образной опоры и верхним концом соответствующей гирлянды изоляторов с фазным проводом. Нижний конец средней гирлянды изоляторов закреплен с двух сторон горизонтальными шарнирными изоляционными распорками в растяжку к обеим стойкам опоры, а концы правой и левой гирлянд изоляторов прикреплены соответственно слева и справа к стойкам опоры такими же изоляционными распорками. При ветре слева или справа отклоняется соответственно по ветру левая или правая гирлянда изоляторов с фазным проводом и тогда её силоизмерительный датчик измеряет гололедно-ветровую нагрузку, в то время как средняя гирлянда не отклоняется и её датчик всегда измеряет только гололедную нагрузку. По величинам гололедно-ветровой и гололедной нагрузок нелинейные преобразователи вычисляют фактическую ветровую нагрузку, которая вместе с фактической гололедной нагрузкой отображается измерительными приборами. Определяющим недостатком этого устройства является то, что в нем, несмотря на реализованное измерение отдельно фактических гололедной, ветровой и гололедно-ветровой нагрузок, автоматически не производится обнаружение отложений на проводе промежуточного пролета по величинам этих нагрузок, из-за отсутствия в нем порогового устройства и формирователя порогов. Кроме того, это устройство имеет ограниченную область применения – только на фазных проводах промежуточных пролетов одноцепных линий с двухстоечными П-образными опорами.

Известно более совершенное по принципу действия и по конструкции устройство телеизмерения гололедной нагрузки на проводах промежуточного пролета ВЛ [4],

которое может применяться на многоцепных ВЛ с любыми типами опор. Устройство содержит канал телепередачи, коммутатор и два пружинных весовых датчика с контактными группами весовой уставки на подвижной оси датчика, на которой подвешен провод. Каждый датчик подвешен подвижно между траверсой опоры и верхним концом соответствующей гирлянды изоляторов, нижние концы обеих гирлянд изоляторов соединены между собой шарнирно, образуя V-образную подвеску провода. Этот обнаружитель выдает сигнал наличия отложений при достижении определенного веса отложений на проводе, посредством замыкания группы контактов в момент прохождения проводом нижней точки при колебании провода под действием ветра в плоскости перпендикулярной линии визирования пролета. Определяющим недостатком такого устройства является то, что оно при сильном равномерном ветре может вообще никогда не выдать сигнал обнаружения отложений, т.к. будет постоянно находиться в отклоненном (не вертикальном) положении и группы контактов не будут замкнуты. Кроме того, и при малом удельном весе отложений группа контактов не будет замыкаться и, следовательно, не будет выдаваться сигнал обнаружения отложений, т.е. будет происходить пропуск наличия отложений на проводе. При малой весовой уставке в датчиках рост вероятности ложной тревоги будет опережать рост вероятности правильного обнаружения, т.к. любое случайное превышение сигналом порога несвязанное с появлением отложений (из-за переменного ветра) будет вызывать появление сигнала обнаружения. Следовательно, рассматриваемое устройство имеет низкую вероятность правильного обнаружения отложений всех возможных видов.

2. Известны устройства (датчики) для измерения плотности (проводимости) отложений на специальных поверхностях, размещенных рядом с проводом промежуточного пролета ВЛ (на расстоянии обеспечивающим электробезопасность) [2]. Весьма интересно и устройство содержащее два генератора, один с открытым, а другой с закрытым от атмосферным осадков резонансных элементов, датчик температуры, два датчика осадков. По корреляции параметров сигналов, снимаемых с перечисленных датчиков, устройство оценивает величину и интенсивность гололедообразования. К сожалению, такие устройства не позволяют получить достоверный результат, т.к. условия образования отложений на проводе существенно отличаются от условия образования от-

ложений на измерительной поверхности, из-за протекания по проводу токов нагрузки и соответственно температурного нагрева провода.

3. Известен и способ прогнозирования вида отложений на проводе, основанный на решении многомерной задачи термодинамического обменного процесса, использующий в качестве исходной информации температуру провода и воздуха, давление воздуха, относительную влажность, направление и скорость ветра [5]. Недостатком такого способа является то, что для прогноза вида отложений на проводе требуется измерение в точке контроля большого количества синоптических параметров, что требует больших аппаратных затрат на измерение этих параметров и их передачу для обработки.

4. Способ и устройства обнаружения отложений на проводах, основанные на наведении от фазного провода электрического потенциала в приемной антенне [2], расположенной или перпендикулярно или параллельно проводам промежуточного пролета ВЛ, достаточно сложно технически реализуемы, громоздки и зависимы от режимов работы самих ВЛ.

5. При реализации способа и устройства обнаружения отложений на проводе промежуточного пролета ВЛ, основанного на измерении разности напряженностей поля в точке гололедной муфты и за ее пределами [2] оно будет ложно срабатывать при изменении метеорологических параметров, ненадежно функционировать из-за воздействий электромагнитных помех и иметь сложную техническую реализацию.

6. В способе и устройстве обнаружения отложений на проводе промежуточного пролета ВЛ [2] при наличии на проводе отложений равных по толщине расстоянию между проводом и установленным на него датчиком, проводимостью промежутка провод – датчик вследствие изменения электрофизических свойств среды резко возрастает на несколько порядков (удельная проводимость льда при постоянном токе составляет $10^{-9} \dots 10^{-10}$ См/см в отличие от удельной проводимости воздуха $10^{-15} \dots 10^{-16}$ См/см), что служит сигналом о появлении отложений на проводе. Существенными недостатками такого способа и устройства являются то, что сигнализация об обнаружении отложений возникнет тогда, когда толщина отложений станет равной расстоянию между проводом и чувствительным элементом; невозможность определения динамики нарастания (убывания) во времени отложений на проводе; ненадежность в работе, обусловленная воздействи-

ем на устройство электромагнитных помех и сложность технической реализации, обусловленная «подвешенностью» элементов устройства к потенциалу высоковольтного провода.

7. В способе и устройствах для обнаружения и контроля отложений на проводе промежуточного пролета ВЛ [2] при наличии отложений на оптическом датчике световой поток, поступающий от светопередатчика на вход фотоприемника, оказывается сильно ослабленным и сигнал на выходе фотоприемника отсутствует. Существенным недостатком таких устройств является громоздкость и сложность технической реализации. Представляет определенный интерес устройство для обнаружения отложений и пляски проводов ВЛ [2]. В этом устройстве датчиками гололеда являются дифференциальные магнитные трансформаторы, один из которых установлен у опоры, а другой в середине пролета. Медленное изменение сигнала отражают степень отложений на проводе, а периодические изменения сигнала с частотой 0,2...0,4 Гц сигнализируют о пляске проводов. Однако разные токовые нагрузки в проводах ВЛ, а, следовательно, и разные нагрузки отложений на них, вследствие разного нагрева проводов, и, соответственно, разного влияния ветра, вызывающие пляску и вибрацию проводов не позволяют достоверно узнать на каком проводе какая степень отложений или где в текущий момент происходит его пляска или вибрация.

Рассмотрев и проанализировав инструментальные параметрические способы и устройства обнаружения отложений на проводах ВЛ можно отметить следующее: в большинстве работ задача обнаружения, измерения и обработки совмещены в едином устройстве – релейном силоизмерительном датчике. Для передачи первичной информации и результатов обработки используются провода ВЛ. Обработка сведена к решению простой задачи обнаружения по параметрам, на которые в разной степени влияют некоррелированные параметры, например, при обнаружении по гололедно-ветровой нагрузке она должна определяться по массе отложений, воздействию ветра и его относительному направлению, температуре провода и динамической составляющей колебаний провода (вот почему нужно их по возможности разделять на отдельные составляющие). Кроме того, вопросы обработки информации для принятия обоснованного решения на плавку отложений практически не нашли своего решения, т.к. неправильно выбран определяющий параметр мониторинга (сейчас им являются

диаметр муфты отложений и распределение отложений по пролету и по всей линии при визуальном контроле, или гололедно-ветровая (или гололедная) нагрузки на провод промежуточного пролета и распределение отложений по всей линии при инструментальном контроле) и не обоснованы или вообще не установлены пороговые величины контролируемых параметров, при превышении которых принимается решение о проведении плавки.

Таким образом из всего перечня разработанных учеными практических решений и технических устройств реальное внедрение и практическое применение нашли лишь системы и устройства, основанные на гравитационном способе обнаружения отложений на проводах промежуточного пролета ВЛ и на явлениях затухания сквозного зондирующего ВЧ сигнала, импульсного ВЧ зондирования проводов ВЛ. Остальные предложенные устройства обладают серьезными недостатками, препятствующими их массовому внедрению, кроме того необходимо учитывать мероприятия по снижению гололедно-ветровых аварий при их разработке [7].

Выводы

1. Причина незащищенности ВЛ от гололедно-ветровых аварий прежде всего заключается в отсутствии эффективной информационно-измерительной системы мониторинга ВЛ. До сих пор в известных работах системы мониторинга не рассматриваются как средства обнаружения воздействия и распознавания его вида, распознавания вида отложений. Мало изучена задача разделения гололедно-ветровой нагрузки на гололедную и ветровую. Известных исследований воздействия динамических нагрузок пляски проводов не достаточно для разработки способов и устройств обнаружения пляски, являющейся основной причиной аварий ВЛ.

2. Оценка состояния элементов ВЛ по параметрам, контролируемым существующими системами мониторинга гололедно-ветровых нагрузок ВЛ, принципиально не позволяет на необходимом уровне решать задачу предотвращения гололедно-ветровых аварий. Необходимо ввести перечень новых дополнительных и синтезированных параметров, совместно с

известными, которые позволят получить более информативную характеристику состояния ВЛ как механической системы.

3. Для оценки, контроля и прогнозирования состояния ВЛ, и принятия решения о наличии опасности возникновения аварии на ВЛ достаточно обладать информацией о текущем состоянии каждого из промежуточных пролетов ВЛ. При этом целесообразно применять системы мониторинга только на тех промежуточных пролетах, на которых по данным опыта эксплуатации при прочих равных условиях метеорологические воздействия проявляются раньше и нарастают стремительнее, чем на остальных пролетах контролируемой линии.

Список литературы

1. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах: учеб. пособие / И.И. Левченко, А.С. Засыпкин, А.А. Аллилуев, Е.И. Сацук. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.: ил.
2. Кузнецов П.А. совершенствование мониторинга воздушных линий электропередачи при экстремальных метеорологических воздействиях: дис. канд. техн. наук. – Саратов. 2007. – С. 15–27.
3. Панасенко М.В., Брыкин Д.А. Обзор используемых устройств обнаружения отложений для систем мониторинга воздушных линий электропередачи // Воздушные линии. – 2012. – №3. – С. 79–82.
4. Панасенко М.В. Состав информационно-измерительных систем мониторинга воздушных линий электропередачи // Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. VIII Всерос. науч.-практ. конф. (Камышин, 23–25 ноября 2011 г. В 3 т. Т. 1 / ФГОБОУ ВПО ВолгГТУ КТИ (филиал) ВолгГТУ). – Волгоград, 2012. – С. 145–148.
5. Панасенко М.В., Хромов Н.П. Современные системы мониторинга воздушных линий электропередачи // Электроэнергетика глазами молодежи: науч. тр. IV междунар. науч.-техн. конф. (Новочеркасск, 14–18 окт. 2013 г.: Т. 1 / Южно-Российский гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова.). – Новочеркасск, 2013. – С. 529–532.
6. Панасенко М.В. Устройство для измерения гололедной и ветровой нагрузок на провода и тросы воздушных линий электропередачи // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/113-11277>.
7. Панасенко М.В., Шевченко Н.Ю., Хромов Н.П., Сошинов А.Г. Мероприятия по снижению гололедно-ветровых аварий в электрических сетях // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2014. – № 8. – С. 30–37.
8. Панасенко М.В. Системы мониторинга воздушных линий электропередачи // Moderni vymozenosti vedy-2013: mater. IX mezinar. vedecko-prakticka konf. (27 ledna-05 unora 2013 r.). Dil 75. Technicke vedy. – Praha, 2013. – P. 91–93.
9. Панасенко М. В. Ways end device for measurement of klimatik loads of wires and cables of air-lines // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach: Research articles. Vol. 5. Technical Sciences / Science editor: A. Burkov; B&M Publishing; Research and Publishing Center «Colloquium». – San Francisco (California, USA), 2014. – P. 162–166.