

**УДК 621.316**

А.А. Литвяк, студент гр. ЭЭб-152 (КузГТУ)

Научный руководитель И.Н. ПАСКАРЬ, старший преподаватель (КузГТУ)  
г. Кемерово

## **МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

В настоящее время для передачи энергии на большие расстояния, ввиду относительной экономической выгоды, используют воздушные линии электропередач (ЛЭП). Одним из основных элементов ЛЭП являются провода. При эксплуатации воздушных линий электропередач возникает проблема обледенения проводов. Данная проблема общеизвестна и особенно актуальна в регионах с повышенной влажностью и резкими перепадами температур воздуха в зимнее время года, в осенне-зимних и весенне-зимних сезонах.

Обледенение может возникать в результате намерзания переохлажденного дождя или мокрого снега, а также путем кристаллизации содержащего в воздухе водяного пара. Гололед образовывается на проводах при температуре воздуха около  $-5^{\circ}\text{C}$  и скорости ветра 5 - 10 м/с. Полная масса ледообразования приводится к форме полого цилиндра льда с толщиной стенки, равной  $b$  (рис.1). Толщина стенки гололёда на них может варьироваться от 10 до 45 мм и выше, в зависимости от климатического района.

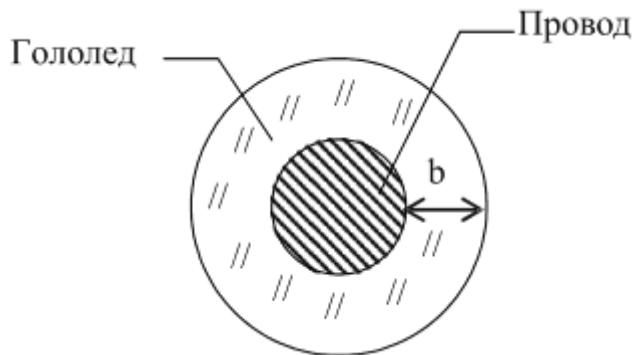


Рис. 1. Идеализированное представление гололеда на проводах

В результате образования снежно-ледяного покрова на ЛЭП, провода утяжеляются, что приводит к их обрыву, разрушению металлических опор (рис. 2), ухудшение защитных свойств изоляторов и дополнительной механической нагрузки на всех элементах воздушных линий.



Рис. 2. Последствия обледенения ЛЭП

Такие аварии приносят значительный экономический ущерб, для восстановления оборванных проводов нужны огромные средства и большое количество времени. Среднее время ликвидации гололедных аварий превышает среднее время ликвидации аварий, вызванных другими причинами, в десять и более раз.

По статистике в энергосистемах по причине гололеда происходит от шести до восьми крупных аварий в год. Поэтому энергетики рассматривают проблему обледенения ЛЭП в качестве одного из наиболее серьезных бедствий. Что заставляет искать высокоэффективные методы борьбы с гололедными отложениями на проводах. Существуют разнообразные способы борьбы с ледообразованием, но не всегда и не все эти способы являются эффективными.

### *1) Механический способ*

Наиболее используемый метод борьбы с ледяными наростами – механический. Заключается этот способ в сбивании льда с проводов при помощи длинных шестов, с земли или вышек и площадок, установленных на механизмах или транспортных средствах (рис. 3). Для обивки используются шесты из различных материалов (дерево, бамбук, стеклопластик или бакелит).



Рис. 3. Механическое удаление гололеда с проводов

Обивка осуществляется боковыми ударами, которые вызывают волнообразные колебания провода, при этом гололедные образования ломаются и осыпаются. Но такой способ требует доступа к ЛЭП, что нарушает нормальную работу участка.

Обивка является достаточно трудоемким и времязатратным процессом и требует большого количества рабочих. К тому же механическое воздействие не препятствует обледенению, а лишь устраниет его.

Известен способ для удаления гололеда, который заключается в перемещении, по проводам воздушных линий электропередач, устройства, содержащего ролики-ледорезы, связанные посредством штанги с наземным транспортом(трактором). Количество штанг зависит от числа очищаемых проводов, с закрепленными на них роликами-ледорезами. Штанги перемещают под проводами вдоль линии электропередачи. При этом ролики-ледорезы, накатываясь на участки , покрытые льдом, последовательно приподнимают и перегибают провода, разрушая гололедные отложения и очищая их.

Недостатком такого устройства является низкая производительность и низкая эффективность удаления льда из-за использования наземного транспортного средства, возможность повреждения и деформации проводов в процессе удаления гололеда, что приводит к обрывам сети и сопровождается ускоренным износом проводов.

Помимо использования традиционных механических методов борьбы с гололедом в настоящее время активно разрабатываются различные механические и робототехнические системы для определения появления льда и его ликвидации с проводов ЛЭП. Таким приспособлением, например, является электроимпульсное передвижное устройство, управляемое с земли, которое за достаточно короткий промежуток времени освобождает от обледенения провод в пролете длиной двести шестьдесят метров (рис.4).



Рис. 4. Передвижное устройство для механического удаления льда

Специалисты управляют роботом дистанционно, в режиме реального времени, таким образом они могут обнаружить повреждение, удалить лед с проводов и выполнить простой ремонт. Такой формат работы является экономически выгодным, так как для осмотра не нужно обесточивать линию электропередач, а также позволяет снижать риски, повышать безаварийность работы и безопасность работы людей.

Более эффективно устройство айс-скайпер (рис.5), которое представляет собой питаемую от аккумуляторных батарей, перемещающуюся по проводу каретку, оснащенную режущими устройствами высокой прочности взламывающими за счет толкающих усилий каретки гололедную корку, очищая провод от отложений.



Рис. 5. Дистанционно управляемое устройство для механического удаления льда

К недостаткам робота можно отнести: необходимость специальной техники (автовышка) и обслуживающего персонала, для установки робота на провод и снятие его с провода, а также перевеса с одного провода на другой, что повышает финансовые затраты и затрудняет его использование в труднодоступных районах, высокая стоимость самого робота.

К тому же при большой протяженность линий необходимо большое количество таких роботов с обслуживающим персоналом, что является экономически невыгодным.

### *2)Электротермические способы*

Электротермические способы удаления льда заключаются в нагреве проводов электрическим током, обеспечивающим предотвращение образования льда – профилактический подогрев или его плавку.

Профилактический подогрев проводов заключается в искусственном повышении тока сети ЛЭП до такой величины, при которой провода нагреваются до температуры выше 0°C. Поскольку при такой температуре гололед на проводах не откладывается. Профилактический подогрев необходимо начинать до образования ледяного нароста на проводах при климатических условиях, когда его образование становится возможным и должен происходить в течение всего гололедного периода. Длительность подогрева вызывает значительные расходы электрической энергии, поэтому на практике такой способ находит очень ограниченное применение.

Плавка гололеда на проводах осуществляется при уже образовавшемся гололеде путем искусственного повышения тока сети ЛЭП до величины, необходимой для плавки гололеда. Ледяную корку на высоковольтных линиях ликвидируют, нагревая провода постоянным или переменным током частотой 50 Гц до температуры 100-130°C, причем для каждой отдельной линии время плавки свое, оно зависит от погодных условий и толщины гололедной муфты. Реализация такого способа требует отключения ЛЭП от генерирующих источников на длительное время, а действительное время плавки ледяных отложений должно быть гораздо больше, чем расчетное, для подсушивания проводов, после полного очищения от обледенения, что может привести к необратимым пластическим деформациям проводов.

Плавка льда переменным током используется для ЛЭП с низким значением напряжения (менее 220 кВ), с учетом системы энергоснабжения и технических характеристик, вполне возможно использование и переменного тока. Предупредительные меры заключаются в профилактическом подогреве проводов для предотвращения их обледенения. С помощью специальных трансформаторов в кольцевой системе создаются дополнительные контурные токи, что позволяет нагревать провода и предотвратить образование льда. Замечательно то, что здесь не требуется отключения энергии, как в случае с использованием постоянного тока, и таким образом обеспечивается бесперебойная работа сети.

К недостаткам можно отнести высокую стоимость источников высокочастотного тока необходимой мощности.

### *3)Физико-химические методы*

Физико-химические методы, заключаются в нанесении на провода растворов специальных веществ, которые замерзают при температурах значительно более низких, чем вода.

Метод предполагает получение супергидрофобных покрытий. Такие антиобледенительные покрытия снижают до нуля адгезию воды (переохлажденный дождь и переохлажденный провод), в несколько раз снижает прилипание мокрого и сухого снега, в 2–3 раза снижает адгезию изморози. Но если все же провод покроется ледяной коркой, то от нее без затруднений можно избавиться. Нанесенное на алюминиевый провод для защиты от гололедных отложений супергидрофобное покрытие способно выдержать до ста циклов заморозки и разморозки без существенной деградации текстуры и супергидрофобного состояния. При температуре -5 °С и скорости ветра 10 м/с спустя минуту на алюминиевом образце без покрытия уже появляется слой льда, а на алюминиевом образце с супергидрофобным покрытием нет (рис.6).

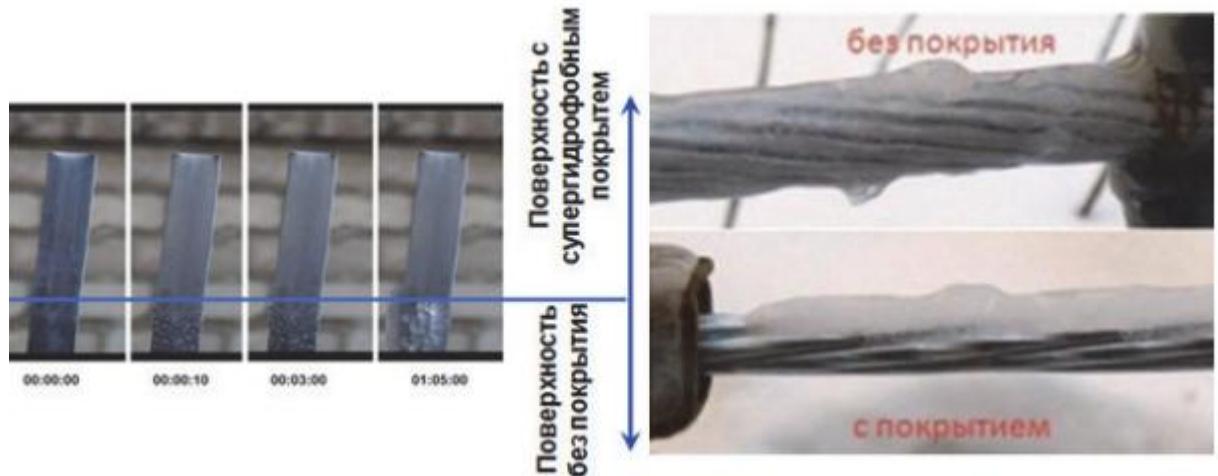


Рис. 6. Результат испытаний супергидрофобных покрытий

Данный метод существенно превышает эффективность традиционных и позволяет говорить о новом физико-химическом подходе в борьбе с обледенением проводов ЛЭП.

Недостатком такого метода является достаточно непродолжительный срок действия «незамерзающих жидкостей», а регулярно наносить их на сотни, а то и тысячи километров проводов нереально.

#### 4) Электромеханические способы

Сущность данного способа состоит в комбинированном (механическом и тепловом) воздействии на провода. Если через провода пропускать импульсы тока определенной скважности и амплитуды, то под действием силы Ампера, возникающей при протекании по параллельным проводам электрического тока, провода будут испытывать силовые возмущения, приводящие их в колебательное движение. Для максимальной эффективности процесса разрушения ледяного покрытия, необходимо чтобы частота вынужденных колебаний совпадала с собственной частотой проводов с намерзшим на них льдом. При возникновении резонанса удаление ледяных отложений происходит более эффективно и менее энергозатратно.

Основным недостатком данного устройства является невозможность создания в слоях уже образовавшегося льда более высоких знакопеременных растягивающих и сжимающих напряжений, возникающих от изгиба и

встряски обледеневших проводов, способствующих более эффективному разрушению ледообразования при меньших токах, т.е. при меньшем энергопотреблении.

Список используемой литературы:

1. Способы удаления льда с проводов линий электропередачи [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://ogbus.ru/issues/3\\_2015/ogbus\\_3\\_2015\\_p794-823\\_NikitinaIE\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/3_2015/ogbus_3_2015_p794-823_NikitinaIE_ru.pdf) (дата обращения 10.11.2016)
2. Устройство для сброса гололедных отложений с проводов / Белый Д. М., Афанасьев Г.Ф.: пат. № 2481684 Росс. Федерация. № МПК H 02 G7/16, опубл. 10.05.2013 г., бюл. № 1. 3 с.: ил
3. Дьяков А.Ф. Предотвращение и ликвидация гололедных аварий в электрических сетях / А.Ф. Дьяков // Пятигорск: Изд-во РП «Южэнерготехнадзор». - 2000. - 284 с.