

УДК 621.314  
**МЕХАНИЧЕСКИЙ СПОСОБ УДАЛЕНИЯ ЛЬДА  
С ПРОВОДОВ ЛЭП**

**Студент гр.10602117 Шалыгин Н.Г.**

Научный руководитель – к.т.н., доцент Николаенко В. Л.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

В настоящее время для передачи энергии на большие расстояния, благодаря относительно небольшой стоимости, широко применяют воздушные линии электропередачи (ЛЭП). Одним из основных элементов ЛЭП являются провода. При эксплуатации воздушных линий электропередач возникает проблема обледенения проводов. Значительное число воздушных линий электропередачи различных регионах страны подвержены в зимнее время года и в осенне-зимних и весенне-зимних сезонах налипанию мокрого снега на провода и образованию гололедно-изморозевых отложений. Высокая влажность, ветры, резкие перепады температуры воздуха способствуют образованию наледи на проводах воздушных линий. Толщина гололёда на них может достигать 60-70 мм, существенно утяжеляя провода. Простые расчеты показывают, что, например, провод марки АС-185/43 диаметром 19,6 мм километровой длины имеет массу 846 кг; при толщине гололёда 20 мм она увеличивается в 3,7 раза, при толщине 40 мм – в 9 раз, при толщине 60 мм – в 17 раз. При этом общая масса линии электропередачи из восьми проводов километровой длины возрастает соответственно до 25, 60 и 115 тонн, что приводит к обрыву проводов и поломке металлических опор. Наличие гололеда обуславливает дополнительные механические нагрузки на все элементы воздушных линий. В результате значительного увеличения массы проводов и воздействующих на них динамических и статических нагрузок происходят опасные и нежелательные явления, особенно при сильном ветре. К их числу относятся обрыв токопроводящих проводов и грозозащитных тросов под тяжестью снега и льда, недопустимо близкое сближение проводов и их сильное раскачивание (так называемая «пляска»), ухудшение защитных свойств изоляторов, разрушение опор.

Подобные аварии приносят значительный экономический ущерб, на их устранение уходит несколько дней и затрачиваются огромные средства. В результате сетевые энергокомпании и потребители несут крупные убытки, а восстановление оборванных проводов – дорогостоящий и трудоемкий процесс. Среднее время ликвидации гололедных аварий превышает среднее время ликвидации аварий, вызванных другими причинами, в 10 и более раз.

### **Анализ современного состояния проблемы обледенения проводов ЛЭП**

Отложение гололёда представляет большую опасность для стабильного энергоснабжения и нормальной эксплуатации воздушных линий электропередачи. За последние двадцать лет произошли значительные изменения в динамике и географии образования гололёда на высоковольтных линиях передачи электроэнергии. Опишем один из возможных физических механизмов образования гололёда, зарождающегося по причине соприкосновения двух масс воздуха – холодного и теплого повышенной влажности. В условиях относительно мягкой зимы при резком перепаде значений температуры окружающего воздуха от положительной к отрицательной на проводах оседают капли воды и начинается лавинообразный процесс образования толстой ледяной корки, достигающей толщины в несколько десятков миллиметров и многократно утяжеляющей провода (рис. 1).

При этом толщина плотного гололёда на проводах может достигать 60- 70 мм (рис. 2), существенно утяжеляя провода. Вес гололедно-изморозевых отложений в отдельных случаях может достигать более 4 кг на погонный метр провода

Допустимая толщина стенки гололеда для линий с различным номинальным напряжением зависит от климатического района. В таблицах 1 и 2 приведены нормативные значения стенки гололеда для различных климатических районов.



Рис. 1. Гололедные отложения на проводах воздушной линии электропередач



Рис. 2. Характерное обледенение провода ЛЭП

Таблица 1

Нормативная толщина стенки гололеда, мм, для высоты 10 м над поверхностью земли

Климатический район по толщине стенки гололеда	Номинальное напряжение линии		
	до 3	6-330	500, 750
I	5	5	На основе данных наблюдений, но не менее 10
II	5	10	
III	10	15	
IV	15	20	
Особый	20 и более с уточнением по данным наблюдений	22 и более с уточнением по данным наблюдений	

При значительных гололедных отложениях возможны обрывы проводов, тросов, разрушения арматуры, изоляторов и даже опор воздушных линий (рис. 3).



Рис. 3. Гололёд – бедствие для линий электропередач

Гололед может откладываться по фазным проводам достаточно неравномерно. Стрелы провеса проводов с гололедом и без гололеда могут отличаться на несколько метров. Неравномерность отложения льда на фазных проводах, приводящая к различным значениям стрел провеса, а также неодновременный сброс гололеда при его таянии, вызывающий «подскок» отдельных проводов, могут привести к перекрытию воздушной изоляции. Гололед является

одной из причин «пляски» проводов, способной привести к их схлестыванию [1].

Подобные аварии приносят значительный экономический ущерб, на их устранение уходит несколько дней и затрачиваются огромные средства. Энергетики рассматривают обледенение ЛЭП в качестве одного из наиболее серьезных бедствий. Среднее время ликвидации гололедных аварий превышает среднее время ликвидации аварий, вызванных другими причинами, в 10 и более раз. Проблема борьбы с обледенением проводов линий электропередач довольно остро стоит по всему миру, особенно в регионах с высокой влажностью и низкими температурами зимой.

Несмотря на многолетние усилия энергетиков, гололедные аварии в электрических сетях многих энергосистем по-прежнему вызывают наиболее тяжелые последствия и периодически дезорганизуют электроснабжение регионов страны. Борьба с гололедом осуществляется в большинстве случаев примитивно, путем обивки проводов от мокрого снега и льда. Установка опор через небольшие интервалы и даже примитивная борьба с гололедом требуют больших затрат труда и материальных ресурсов [2]. В результате энергокомпания и потребитель несут крупные убытки, а восстановление оборванных проводов – дорогостоящий и трудоемкий процесс. Энергетики рассматривают обледенение ЛЭП в качестве одного из наиболее серьезных бедствий. С такими же проблемами сталкиваются многие северные страны, а также Китай и Япония. Поэтому во всем мире целым рядом компаний и организаций активно ведутся исследования и разработка способов и устройств для борьбы с обледенением линий электропередач. Методы борьбы с образованиями на проводах и тросах воздушных линий электропередачи заключаются в недопущении обледенения, снижения размеров отложений и удаления гололедных отложений.

**Аналитический обзор существующих способов, устройств и систем для борьбы с гололедом на проводах линий электропередач**  
**Способы удаления льда с проводов ЛЭП**

Современные методы активной борьбы с обледенением приведены на рисунке 4.



Рис. 4. Современные методы активной борьбы с обледенением

### **Механический способ удаления льда с проводов ЛЭП**

Механические способы, используемые чаще всего, заключаются в применении специальных приспособлений, обеспечивающих сбивание льда с проводов [1, 2]. На линиях чаще всего используют механические методы борьбы с обледенением [1, 2]. Механические способы заключаются в применении специальных приспособлений, обеспечивающих сбивание льда с проводов (рис. 5). Самый простой способ механического удаления гололеда – сбивание, которое производится при помощи длинных шестов с земли или с корзины автовышки, но они требуют доступа к ЛЭП, что нарушает нормальную работу участка. К тому же механическое воздействие не препятствует обледенению, а устраняет его.



Рис. 5. Механическое удаление отложения льда с проводов

Удаление гололеда с проводов шестами практически неосуществимо без привлечения большого количества рабочих. Этот метод требует много времени и применяется только на коротких участках линий, когда плавка электрическим током экономически нецелесообразна или технически невыполнима.

Известен способ перемещения по проводам воздушных линий электропередачи средств для удаления льда – роликов-ледорезов, основанный на использовании наземного транспортного средства –

трактора, связанного с роликами-ледорезами посредством штанги. Устройство для осуществления этого способа содержит установленные на транспортном средстве штанги по числу очищаемых проводов с закрепленными на них средствами для удаления льда, а именно роликами-ледорезами. Штанги, закрепленные на транспортном средстве – тракторе, перемещают под проводами вдоль линии электропередачи. При этом ролики-ледорезы, накатываясь на участки проводов, покрытых гололедом, последовательно приподнимают и перегибают их, разрушая гололедные отложения на проводах очищая их. Недостатком таких решений является низкая производительность и возможность повреждения и деформации проводов в процессе удаления гололеда, что приводит к обрывам сети и сопровождается ускоренным износом проводов, невысокая эффективность удаления льда вследствие использования наземного транспортного средства – трактора.

Кроме использования традиционных механических методов борьбы с гололедом в настоящее время активно разрабатываются различные механические и робототехнические системы для определения появления льда и его удаления с проводов ЛЭП.

В 2005 г. группа специалистов из компании «Хайдро-Квебек» во главе с Андре Леблоном разработала и провела практические испытания многозарядного пневматического устройства (рисунок 6) для удаления гололеда. Поскольку гололед является достаточно хрупким образованием, ударные воздействия позволяют разрушать покрытия на локальных участках провода или грозозащитного троса.





Рис. 6. Пневматическое устройство для механического удаления льда с провода

Другое усовершенствованное приспособление было также разработано в Канаде (рис. 7) и представляет собой передвижное устройство, управляемое с земли. Оно является электроимпульсным и за достаточно короткий промежуток времени позволяет освободить от гололеда провод в пролете длиной 260 м.

Научно-исследовательский институт Канады Hydro-Québec начал робототехнический проект LineScout в 1998 году. Причиной запуска данного проекта были массовые отключения на несколько дней электричества у миллионов пользователей в результате ледяного шторма и обрыва линий электропередач из-за намерзания льда [3]. В связи с этим появилась идея создать небольшой мобильный робот, который мог бы перемещаться по проводам высоковольтных ЛЭП, и удалять с них лед. Первый прототип был небольшим роботом, который скалывал лед. Более поздняя версия робота была оборудована камерами и инфракрасными датчиками, а робот использовался для осмотра работающих линий высокого напряжения.



Рис. 7. Передвижное устройство для механического удаления гололеда провода

Сегодня робот LineScout может перемещаться по работающим линиям электропередач и давать информацию о состоянии линий. Специалисты управляют роботом дистанционно, находясь на земле, и таким образом они могут обнаружить повреждение, удалить лед с проводов и выполнить простой ремонт. А такой формат работы позволяет получить значительную экономию, так как для осмотра не нужно обесточивать линию электропередач, а также позволяет снижать риски, повышать безаварийность работы и безопасность работы людей.

Достоинством робота LineScout является возможность его управления оператором в режиме реального времени.

Более эффективны так называемые айс-скрайперы, срезающие гололед с провода в пролете любой протяженности. В настоящее время разработаны и проходят испытания дополняющие их дистанционно управляемые роботизированные устройства, предназначенные для перемещения как самих этих устройств, так и айс-скрайперов из пролета в пролет. Устройство подобного типа показано на рисунке 8 и представляет собой питаемую от аккумуляторных батарей перемещающуюся по проводу каретку, оснащенную режущими устройствами высокой прочности, взламывающими за счет толкающих усилий каретки гололедную

муфту, освобождая провод от отложений.

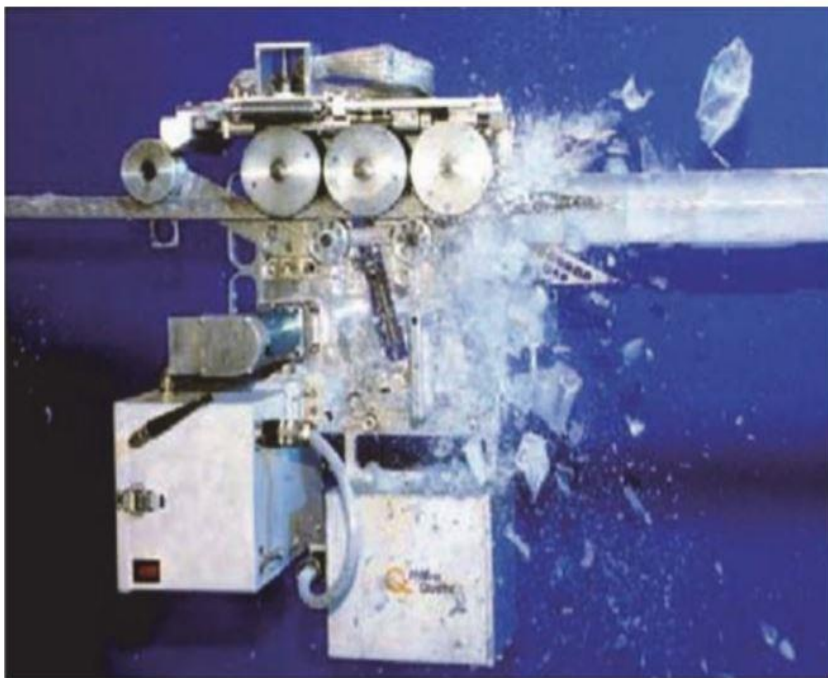


Рис. 8. Дистанционно управляемое устройство для механического удаления льда

К недостаткам робота можно отнести:

- необходимость ручной установки робота на провод и снятия его с провода, а также перевеса с одного провода на другой. Для этого необходима специальная техника (автовышка) и обслуживающий персонал, что повышает финансовые затраты на эксплуатацию робота и затрудняет его использование в труднодоступных районах;
- необходимость управления оператором. Это означает, что на каждый экземпляр такого робота необходимо подготовить и обучить квалифицированного специалиста. Кроме затрат на обучение оператора, затраты при эксплуатации робота возрастают за счет оплаты труда оператора;
- высокая стоимость самого робота.

При большой протяженности линий необходимо большое количество таких работ с обслуживающим персоналом, что может быть экономически невыгодным. К тому же механическое воздействие не препятствует обледенению, а устраняет его. Удаление гололеда с проводов шестами практически неосуществимо без привлечения большого количества рабочих. Этот метод требует много времени и применяется только на коротких участках линий, когда плавка электрическим током экономически нецелесообразна или технически невыполнима.

Недостаток механического способа: трудоемок, невозможность применения в труднодоступных районах.

Борьба с обледенением проводов линий электропередачи является серьезной проблемой, актуальной для многих стран, имеющих регионы с высокой влажностью и низкими температурами. Поэтому во всем мире целым рядом компаний и организаций активно ведутся исследования и разработка способов и устройств для борьбы со льдом на линиях электропередач. Однако, несмотря на многолетние усилия энергетиков, гололедные аварии в электрических сетях многих энергосистем по-прежнему вызывают наиболее тяжелые последствия и периодически дезорганизуют электроснабжение регионов страны. По статистике в энергосистемах по причине гололеда происходит от 6 до 8 крупных аварий в год.

#### Литература

1. Левченко И.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 448с.
2. Дьяков А.Ф. Предотвращение и ликвидация гололедных аварий в электрических сетях. Пятигорск: Изд-во РП «Южэнерготехнадзор», 2000. 284с
3. Информационная система iElectro: Все об электротехнике. Управляемый выпрямитель для плавки гололеда на проводах и грозозащитных тросах ВЛ // URL: <http://www.ielectro.ru/news51718/index.html>