

был представлен тепловоз ТЭМ5Х. АО «Синара – Транспортные машины» тоже ведет активную работу в этом направлении.

Главная проблема использования аккумуляторных батарей – их нестабильность и дороговизна. Но с каждым годом наблюдается тенденция к снижению стоимости накопителей. Это позволяет предположить, что у такого вида локомотивов огромное будущее.

Новые виды тягового подвижного состава актуальны не только для ОАО «РЖД», но и для предприятий, работающих на путях необщего пользования. В ближайшее время на сети всех железных дорог нашего государства будут воплощены новые идеи – двухэтажные электропоезда, что позволит решить вопрос для больших агломераций.

«Синара» и РЖД разрабатывают первый в России двухэтажный поезд, способный разогнаться до 400 км/ч, который должен быть изготовлен и сертифицирован к 2028 году.

Экономические затруднения, ставшие следствием пандемии, не помешали проектам ОАО «РЖД» по модернизации подвижного пассажирского состава и расширению сети высокоскоростного сообщения. На маршруты ОАО «РЖД» на протяжении всего 2020 года поступали новые вагоны дальнего следования, а инновационные поезда «Ласточка» связали ряд крупнейших городов страны. Совместно с этим продолжили реконструкцию старых вокзалов и постройку новых, установили рекорд по объему грузоперевозок.

Таким образом, в век всепоглощающих интеграционных процессов железнодорожная инфраструктура приобрела статус механизма. Кроме того, железнодорожную сферу можно рассматривать в качестве стратегического объекта воздействия в мире. Также развитие сферы железнодорожного транспорта является неотъемлемым сегментом современной экономики развитых государств.

Список литературы

1 Переход на гибридные локомотивы с аккумуляторной батареей – дело не самого ближайшего будущего [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/opinions/perekhod-na-gibridnye-lokomotivy-s-akkumulyatornoy-batareey-delo-ne-samogo-blizhayshego-budushchego/>. – Дата доступа : 17.08.2022.

УДК 621.315

ПРОБЛЕМА ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ПРОВОДАХ КОНТАКТНОЙ СЕТИ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Д. В. ДОРОЩУК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Безопасность движения электрического подвижного состава и эксплуатационная надежность тягового электроснабжения определяется во многом состоянием контактной сети, сооружаемой без резервирования. Нарушения в ее работе в значительной степени связаны с различными внешними факторами. Одним из основных факторов ухудшения работы контактной сети является гололед и ветровое воздействие на провода, что в совокупности ухудшает токосъем. Наличие гололеда обуславливает дополнительные механические нагрузки на все элементы контактных сетей и линий электропередачи (ЛЭП). 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 критическое сближение проводов и их сильное раскачивание, ухудшение защитных свойств изоляторов, разрушение опор. На железнодорожном электрифицированном транспорте обледенение контактных проводов приводит к искрению, ухудшению рабочей поверхности полозов токоприемников, происходят пережоги и обрывы контактных проводов, нарушается транспортное сообщение.

Борьба с гололедом осуществляется в большинстве случаев путем отбивки проводов от мокрого снега и льда. Установка опор через небольшие интервалы и даже примитивная борьба с гололедом требуют больших затрат труда и материальных ресурсов. При значительных гололедных отложениях возможны обрывы проводов, тросов, разрушения арматуры, изоляторов и даже опор воздушных линий. Гололед может откладываться по фазным проводам достаточно неравномерно. Стрелы про-

веса 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 одновременный 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.

Механические способы, используемые чаще всего, заключаются в применении специальных приспособлений, обеспечивающих сбивание льда с проводов. 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. Обивка гололедных отложений может осуществляться с земли или вышек и площадок, установленных на механизмах или транспортных средствах. Этот метод требует много времени, большого количества рабочих и применяется только на коротких участках линий, когда плавка электрическим током экономически нецелесообразна или технически невыполнима. Известен способ перемещения по проводам воздушных ЛЭП средств для удаления льда – роликов-ледорезов, основанный на использовании наземного транспортного средства – трактора, связанного с роликами-ледорезами посредством штанги. Недостатком такого способа является низкая производительность и возможность повреждения и деформации проводов в процессе удаления отложений льда, что приводит к обрывам сети и сопровождается ускоренным износом проводов.

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. Например, в научно-исследовательском институте Канады создан мобильный робот LineScout, который может перемещаться по работающим ЛЭП и давать информацию о состоянии линий. Специалисты управляют роботом дистанционно, находясь на земле, могут обнаружить повреждение, удалить лед с проводов и выполнить простой ремонт. Такой формат работы позволяет получить значительную экономию, так как для осмотра не нужно обесточивать ЛЭП, а также позволяет снижать риски, повышать безаварийность работы и безопасность работы людей. При большой протяженности линий необходимо большое количество таких роботов с обслуживающим персоналом, что может быть экономически невыгодным. К тому же механическое воздействие не препятствует обледенению, а устраняет его.

Электротермические способы удаления льда заключаются в нагреве проводов электрическим током, обеспечивающим предотвращение образования льда, то есть профилактический подогрев или его плавку. Профилактический подогрев проводов заключается в искусственном повышении тока сети ЛЭП до величины, при которой провода нагреваются до температуры выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. При такой температуре гололед на проводах не откладывается. Профилактический подогрев необходимо начинать до образования гололеда на проводах при климатических условиях, когда его образование становится возможным. При профилактическом подогреве следует, как правило, применять такие схемы питания, которые не требуют отключения потребителей. Плавка гололеда на проводах осуществляется при уже образовавшемся гололеде путем искусственного повышения тока сети ЛЭП до такой величины, при которой выделяемой в проводах теплоты достаточно для расплавления гололеда с нормативной толщиной стенки при нормативных значениях температуры окружающей среды и скорости ветра. Ледяную корку на высоковольтных линиях ликвидируют, нагревая провода постоянным или переменным током частотой 50 Гц до температуры $100\text{--}130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для целей плавки гололеда используются выпрямительные блоки, однако недостатками такого электротермического способа являются его энергозатратность и большая длительность (до 1,5 ч). В настоящее время плавка током – наиболее распространенный способ борьбы с гололедом на проводах воздушных высоковольтных ЛЭП. Существует достаточно большое количество схем плавки гололеда, определяемых схемой электрической сети, нагрузкой потребителей, возможностью отключения линий и другими факторами. Плавка льда переменным током применяется только на линиях с напряжением ниже 220 кВ с проводами сечением меньше, чем 240 мм^2 . Преимуществом данного способа является снижение энерго- и трудозатрат, а к его недостаткам можно отнести необходимость постоянного прогрева проводов для предотвращения гололедообразования; высокая стоимость источников высокочастотного тока необходимой мощности; создание радиопомех в УКВ диапазоне, так как используются радиопередатчики с диапазоном частот 87,5–108 МГц.

В последние годы для борьбы с обледенением стали активно применять физико-химические методы, заключающиеся в нанесении на провода растворов специальных веществ, которые замерзают при температурах, значительно более низких, чем вода. Последняя группа методов предполагает получение покрытий с низкой адгезией к водным средам, снегу и льду. Одним из наиболее перспективных методов снижения адгезии является создание супергидрофобных покрытий, которые помешают проводам обледенеть, а если такое всё же произойдет, ото льда будет несложно избавиться.

На железнодорожном электротранспорте для борьбы с обледенением контактного провода на него могут наносить специальную смазку. Недостатками такого процесса является значительная трудоемкость, при этом приходится закрывать движение поездов. Смазывание необходимо наносить загодя, оно недолговечно, легко снимается с провода полозьями токоприемников. Для удаления льда с провода контактной сети применяются различные устройства, которые, как правило, низкопроизводительны и могут повредить и деформировать провод в процессе удаления льда, что приведет к ускоренному износу и может привести к прекращению движения поездов. Такие же недостатки свойственны барабанам с пневмотурбинами для удаления льда с контактного провода. Недостатком электрических способов удаления льда является то, что во время плавки льда движение поездов прекращается и возможен отжиг провода с последующим его обрывом, особенно при протекании токов короткого замыкания.

Электромеханические способы удаления льда с проводов ЛЭП образуют класс новых способов и устройств борьбы с гололедом на ЛЭП. Удаление гололеда предлагается производить не с помощью термического воздействия от протекающего по проводам тока, а с помощью электромеханического воздействия на лед. По проводам линии пропускают импульсы тока определенной частоты и формы. При протекании тока по проводам возникает сила Ампера, под действием которой происходят механические колебания, которые предупреждают образование обледенения и разрушают корку льда.

Борьба с обледенением проводов линий электропередач и контактных сетей остается одной из главных проблем для многих стран. Каждый из применяемых в настоящее время способов борьбы с гололедом обладает определенными недостатками, поэтому разработка эффективных, экономичных, безопасных устройств и методов, направленных на недопущение обледенений, снижение разрывов и удаление гололедных отложений, остается актуальной задачей.

УДК 621.311.183

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ УЧЕТА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

И. С. ЕВДАСЕВ, В. А. ШАПОВАЛОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Согласно Концепции развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей в Республике Беларусь на период до 2030 года одним из ключевых направлений развития распределительных электрических сетей напряжением 0,4–10(6) кВ является их автоматизация, при которой выделяют ряд основных задач [1]:

- расширение функций мониторинга и диагностики текущего состояния применяемого электрооборудования с возможностью принятия превентивных мер по предотвращению аварийных ситуаций;
- оптимизация режима работы электрической сети за счет наличия в ней дистанционно управляемых элементов на основе расчетов с использованием динамической модели электрической сети и полученной телеметрической информации с объектов автоматизации;
- снижение технологического расхода электроэнергии в распределительных сетях.

Задача снижения технологического расхода электроэнергии в распределительных сетях не так тривиальна. Процессы транспорта электроэнергии в электросетях сопровождаются в каждый момент времени ее расходом на технологические нужды и так называемыми коммерческими потерями. Последние обусловлены как объективными физическими факторами, например, погрешностью системы учета электроэнергии, так и непосредственно действиями человека (несанкционированный