

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу на тему «Автоматизированная система удаления льда с проводов ЛЭП», представленную С.И. Сухоруковым на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Актуальность темы диссертационной работы

В настоящее время одним из самых важных энергоресурсов, применяемых повсеместно, является электрическая энергия. От места производства к конечному потребителю электроэнергия передается по электрическим сетям, основу которых составляют воздушные линии электропередач (ЛЭП), обладающие большой протяженностью и расположенные зачастую в труднодоступных местах. Помимо этого, значительная часть ЛЭП, как на территории России, так и за рубежом, находится в регионах с суровыми климатическими условиями, что обуславливает опасность возникновения различных аварийных ситуаций, вызванных воздействием погодных факторов. Аварии, вызванные образованием гололеда на проводах и иных конструкциях ЛЭП, приводят к масштабным разрушениям линий, перебоям в электроснабжении потребителей и требуют значительных материальных и финансовых затрат на устранение последствий.

Поэтому представленная диссертационная работа, посвященная разработке и исследованию новых способов и устройств для борьбы с гололедом, а также автоматизации процессов удаления гололеда, является своевременной и актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Новизна научных положений и полученных результатов состоит в том, что для достижения поставленных целей автором на основе критического анализа существующих решений в области борьбы с гололедом на ЛЭП разработана классификация средств удаления льда, учитывающая как применяемые способы воздействия на лед, так и возможности управления этими средствами. Разработан новый способ удаления гололеда, основанный на комбинированном воздействии на лед, проработан ряд новых технических решений локальных устройств удаления льда, также сочетающих в себе разнородные типы воздействия – химический, механический, тепловой. Сочетание разнородных типов воздействия позволяет решить две основные задачи – сокращение энергетических и временных затрат на очистку проводов ото льда.

Разработаны математические модели процессов, происходящих при удалении гололеда с применением разработанного способа, и прогнозирующий модуль для автоматического определения гололедообразования.

Обоснованность основных положений диссертации в целом подтверждается корректным применением математического аппарата, теоретических положений из смежных научных дисциплин, аргументированным подходом к постановке задач и получению результатов.

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается практическим использованием предложенных алгоритмов, а так же результатами прикладного исследования (приведены акты об использовании и внедрении).

Ценность для науки и техники представляют собой разработанные в диссертации классификация средств борьбы с гололедом, новый электродинамический способ и ряд новых устройств удаления гололеда, математические модели процессов, происходящих при удалении гололеда электродинамическим способом, а также модуль прогнозирования гололедообразования с элементами искусственного интеллекта.

Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, семи приложений, библиографического списка из 138 наименований и содержит 164 страницы основного текста, 9 таблиц и 71 рисунок. Изложение материала в диссертации является логичным, последовательным и соответствует решаемым задачам.

Во введении автор на основе системного подхода формулирует задачу создания высокоэффективной автоматизированной системы удаления льда с проводов ЛЭП. При этом упор делается на разработку и создание новых способов и устройств удаления льда, основанных на комбинированном воздействии разнородных факторов на обледеневший провод.

Проводит аргументацию актуальности поставленной задачи разработки и исследования новых способов и устройств удаления гололеда с проводов ЛЭП, обладающих повышенной надежностью и снижающих энергозатраты на очистку, а также автоматизированной системы, производящей мониторинг состояния линии, прогнозирование процесса гололедообразования и очистку проводов от образующегося льда.

Формулируется цель работы и выделены задачи, которые необходимо решить для ее достижения, приведены положения, выносимые на защиту, отмечена теоретическая и практическая значимость работы, приведена апробация основных результатов диссертационной работы.

Первая глава посвящена обзору и критическому анализу существующих и применяемых на настоящее время способов, устройств и систем борьбы с гололедом на ЛЭП. Выполнен анализ энергетических затрат на осуществление различных типов воздействий на ледяные отложения.

Положительным аспектом первой главы работы является разработанная автором классификация средств борьбы с гололедом, учитывающая как тип воздействия на слой льда, так и способы управления процессом удаления гололеда.

На основе недостатков известных способов борьбы с гололедом, выявленных в первой главе, во второй главе автором предложен новый способ удаления гололеда, основанный на одновременном воздействии трех факторов на слой льда – механического изгиба, приводящего к разрушению льда на отдельные фрагменты, теплового воздействия, устраняющего адгезию между поверхностью провода и льдом, и механического стряхивания образовавшихся фрагментов льда с провода. Новизна предложенного решения подтверждается патентом на изобретение.

Разработка нового способа повлекла за собой создание целого семейства новых локальных устройств для удаления гололеда, основанных на комбинированном применении разнородных типов воздействия – электромеханического, тепло-химического и др.

Приведенные автором конструктивные и технические решения объединены единой общей задачей – возможностью управления процессом очистки.

Материалы третьей главы посвящены проработке теоретических вопросов реализации предложенного во второй главе способа. В частности – разработки математических описаний процессов, происходящих при удалении гололеда.

Для оценки граничных параметров, при которых начинается процесс разрушения ледяного покрытия, осуществлена разработка математического описания колебания провода под действием периодически возникающей силы Ампера в плоскости действия вынуждающей нагрузки. При разработке математического описания аргументированно использовались допущения, применяемые при исследовании подобных задач. На основании полученного математического описания разработана математическая модель в среде Matlab. В модели учтено воздействие только механических факторов на лед, приводящих к его разрушению.

На полученной математической модели проведена серия численных экспериментов, в ходе которых были выявлены взаимосвязи между изменением параметров ЛЭП и необходимыми параметрами воздействия для обеспечения наиболее энергоэффективных режимов очистки.

Для учета всех составляющих воздействия на лед было разработано математическое описание, основанное на представлении всего процесса удаления в виде трех подпроцессов – расплавления тонкого слоя льда на границе с проводом, разрушения слоя льда на отдельные фрагменты и стряхивания полученных фрагментов с провода за счет инерционных сил. При разработке математического описания был учтен процесс теплообмена с окружающей средой. Разработка математического описания производилась при использовании стандартных допущений, применяемых при расчетах гололедно-ветровых нагрузок ЛЭП. На основании полученного

математического описания разработана математическая модель в среде Matlab Simulink, использование которой дало возможность провести серию вычислительных экспериментов, позволивших определить основные зависимости необходимых параметров воздействия от параметров линии и оценить затраты энергии на проведение очистки. Результаты сравнения с затратами на плавку гололеда показали эффективность предложенного способа.

К положительным результатам третьей главы следует отнести тот факт, что все полученные теоретические выкладки подвергнуты численным исследованиям, результаты которых подтвердили адекватность полученных моделей и позволили выявить границы применимости предложенного способа.

В четвертой главе автором предпринята попытка создания модуля прогнозирования процесса гололедообразования, необходимого для построения автоматизированной системы удаления гололеда. Из многочисленного количества факторов, влияющих на процесс гололедообразования, диссертант аргументированно выбирает только те, которые оказывают непосредственное влияние на отложение гололеда на проводах, пренебрегая рядом сопутствующих факторов, таких как рельеф местности, наличие препятствий и т.д.

Поскольку влияние даже ограниченного количества базовых факторов невозможно точно описать с помощью количественных зависимостей, автором предложено применить в разрабатываемом прогнозирующем модуле аппарат нечетких множеств.

При разработке модуля автором было учтено образование льда различных типов при различных сочетаниях погодных факторов. Функциональные связи между основными факторами и типом образующегося льда описаны в виде семантической сети. На основе полученной сети разработан нечеткий прогнозирующий модуль, работающий в составе системы, определяющей тип образующегося льда, его плотность, массу образовавшегося льда, а также учитывающей изменение геометрических параметров поверхности провода в процессе гололедообразования.

С учетом возможности прогнозирования гололедообразования, разработан общий вид структуры автоматизированной системы удаления льда с проводов ЛЭП. С учетом полученной структуры разработан обобщенный алгоритм управления автоматизированной системой удаления льда с проводов ЛЭП.

Результаты работы разработанного прогнозирующего модуля укладываются в область значений, имеющих в литературе по указанной тематике.

Пятая глава посвящена разработке экспериментальной установки и проведению исследования предложенного во второй главе способа. Физический макет, на основе которого была построена установка, представлял собой масштабную реализацию двух пролетов ЛЭП и в качестве

источника воздействия использовался программно управляемый источник тока с широким диапазоном регулирования частоты и скважности импульсов. На разработанной установке проведена серия экспериментов по исследованию предложенного способа, проведена обработка экспериментальных данных и их сравнение с теоретическими результатами, полученными в третьей главе на математических моделях. Сравнение показало адекватность разработанных в третьей главе математических моделей.

Наличие экспериментальной установки позволило провести ряд экспериментов по оценке влияния неравномерности распределения льда на параметры воздействия. На основании результатов экспериментов была предложена методика учета неравномерного распределения массы льда вдоль пролета.

В заключении приводятся итоговые выводы по всему объему диссертации.

Содержание оппонируемой диссертации соответствует специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Автореферат написан лаконично, технически грамотно и полностью отражает материалы диссертации.

Основные результаты диссертации апробированы на 15-ти научных конференциях и семинарах. По материалам диссертации автором лично и в соавторстве опубликовано 29 работ, в том числе 4 статьи, в изданиях, рекомендованных ВАК, имеется 10 патентов на изобретение. Кроме того, представлены акты об использовании и внедрении, подтверждающие достоверность выдвигаемых автором положений.

К недостаткам диссертационной работы, представленной Сухоруковым С.И. следует отнести следующее:

1. Предложенные автором технические решения локальных устройств удаления гололеда носят в основном описательный характер, и, кроме идеи использования комбинированных воздействий, не подвергнуты подробному исследованию с точки зрения математического описания процессов, происходящих при удалении льда.

2. При оценке влияния составляющих комбинированного воздействия на процесс удаления льда не выявлена оптимизационная зависимость каждой из составляющих на величину затрат энергии.

3. Не полностью решены вопросы выбора оборудования для технической реализации автоматизированной системы удаления гололеда.

4. Не проработаны вопросы использования защитных устройств при реализации предлагаемого способа.

5. Поскольку материал диссертации ориентирован на создание автоматизированной системы удаления гололеда, то желательно было бы иметь какие-то экономические и эксплуатационные показатели, характеризующие эффективность, надежность и экономичность предлагаемой системы.

Заключение

Оценивая работу в целом, следует отметить, что, несмотря на указанные недостатки, представленная диссертационная работа на тему «Автоматизированная система удаления льда с проводов ЛЭП» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно-обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие средств борьбы с гололедом на проводах ЛЭП.

По уровню проведенных научных исследований и их актуальности, в целом оппонируемая работа может быть оценена положительно, а ее автор – Сухоруков Сергей Иванович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Угаров Геннадий Григорьевич
« 5 » октября 2016 г.

410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
Телефон: (8452) 99-87-64
Электронная почта: epp@sstu.ru

Подпись д.т.н., профессора Угарова Г.Г. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета
СГТУ имени Гагарина Ю.А.



Бочкарев Петр Юрьевич
« 5 » октября 2016 г.