

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента  
Бронова Сергея Александровича  
на диссертационную работу Ратушняк Валентины Сергеевны  
на тему «Энергоэффективное предупреждение гололедообразования на  
основе электромеханического преобразователя»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

### **Актуальность темы исследования для науки и практики**

Диссертация Ратушняк В. С. посвящена актуальной теме борьбы с гололедообразованием на проводах линий электропередач (ЛЭП). Воздушные ЛЭП подвержены обледенению в межсезонье во многих регионах России. С этой же проблемой сталкиваются энергосетевые компании в ряде других стран. Борьба с гололедом – это не только непосредственно удаление льда с проводов, но и предупреждающие меры, контроль погодных условий и толщины стенки гололеда. Средства контроля, разработанные на сегодняшний день и уже имеющие опыт успешного внедрения, открывают возможности для применения устройств, ориентированных на предупреждение обледенения без существенных энергозатрат, необходимости доставки и отключения энергопотребителей, не травмирующих элементы конструкции ЛЭП. Однако, методы борьбы с гололедом, наиболее массово применяемые на сегодня, основаны на нагреве, то есть требуют высокого расхода электроэнергии, а также не лишены ряда других недостатков. В этом отношении перспективны альтернативные подходы, основанные на механическом воздействии, однако вопросы обоснования выбора оптимального воздействия и исполнительного устройства обуславливают необходимость проведения дальнейших исследований и разработок. Учитывая все вышеизложенное, тема диссертации является актуальной как теоретически, так и практически.

## Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и трех приложений. Общий объем работы составляет 178 страниц, включая 151 страницу основного текста.

Во введении обоснована актуальность и описано современное состояние вопроса по теме исследования, поставлена цель и сформулированы задачи исследования, отражена научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен статистический анализ аварийных ситуаций, связанных с процессами гололедообразования, охарактеризованы решения, применяемые для борьбы с обледенением проводов, в результате чего сформулированы критерии их эффективности. Обоснована энергоэффективность ударных и вибрационных подходов не только для удаления льда, но и для предупреждения его образования. Проведенный анализ процесса замерзания капель воды позволил сформулировать требования к периодичности их удаления до замерзания.

Вторая глава посвящена разработке конструктивного решения устройства для предупреждения гололедообразования, выбору исполнительного механизма, определению места и способа крепления устройства с учетом особенностей строения ЛЭП. Отдельное внимание уделено вопросам безопасности ударного воздействия. Оценка влияния массы устройства и его начальной скорости на перемещение проведена при помощи разработанной динамической модели. Для описания электрических и механических процессов, происходящих в исполнительном механизме, разработана аналитическая модель. Модель применена для исследования способов снижения токовых нагрузок и способов влияния на параметры переходного процесса.

В третьей главе разработана численная модель системы, включающей в себя провода ЛЭП, присоединенное устройство и капли воды на проводе. Предложены критерии отрыва капли. По результатам численных



исследований получены закономерности влияния параметров удара на скачок тяжения, амплитуду и ускорение перемещения присоединенных капель по всей длине пролета, обоснован выбор в пользу бокового способа крепления в центре пролета. Показано, что ударное устройство со слабым возвратным механизмом при относительно больших импульсах силы удара может вызывать изгибы, превышающие допустимые значения.

В четвертой главе на основе проведенных исследований сформулирована оптимизационная задача выбора параметров удара и соответствующих параметров устройства для предупреждения гололедообразования. Предложена методика проектирования устройства, в рамках которой решается оптимизационная задача, расчеты производятся при помощи разработанных моделей. В соответствии с предложенными в первой главе критериями эффективности подтверждена энергоэффективность разработанного устройства.

В заключении приведены выводы по диссертационной работе.

Список литературы содержит 161 библиографическую ссылку и включает как давние классические публикации по тематике диссертации, так и публикации последних лет, в том числе зарубежные. Это говорит о широком кругозоре автора.

В приложения вынесены документы на зарегистрированные объекты интеллектуальной собственности, принципиальная схема экспериментальной установки и акты внедрения научных результатов диссертации.

Изложение материала в диссертации выполнено логично, последовательно, соответствует поставленной цели и решаемым задачам.

**Обоснованность и достоверность** научных результатов, положений и выводов подтверждается корректностью поставленных задач, обоснованностью принятых допущений, адекватностью используемых математических моделей, соответствием теоретических результатов, полученных разными методами, и экспериментальных данных. По моему мнению, предложенные математические модели не противоречат общей

теории электротехники и электропривода, теории дифференциальных уравнений, выбранные методы и средства моделирования соответствуют решаемым задачам. Кроме этого, достоверность подтверждается наличием объектов интеллектуальной собственности и актов внедрения.

**Наиболее значимые новые результаты** заключаются в следующем:

1) разработана аналитическая модель электродинамического взаимодействия индуктора и бойка в исполнительном механизме устройства для предупреждения обледенения, учитывающая подвижность индукторной системы и его закрепление на проводе, то есть объекте с большой распределенной массой;

2) впервые разработана динамическая модель устройства, учитывающая способ его крепления и обеспечивающая быстрый расчет перемещения элементов конструкции при ударе в зависимости от заданных начальных условий;

3) разработана численная модель устройства и провода с каплями как системы контактирующих объектов, обеспечивающая детальное изучение их движения при ударе;

4) впервые выявлены закономерности влияния параметров переходного процесса в цепи индуктора, определяемых параметрами устройства и прикрепленного провода, на токовые нагрузки, реакцию провода и капель воды;

5) разработана методика проектирования устройства, обеспечивающая оптимальное по ряду критериев предупреждение гололедообразования.

Научные положения опираются на результаты аналитических и экспериментальных исследований, взаимосвязаны между собой, поставленными задачами и представленными выводами, показывают достижение сформулированной цели исследования.



## **Теоретическая и практическая значимость работы, реализация результатов исследования**

Ценность для науки и техники представляет собой теоретически обоснованный ударный способ предупреждения обледенения, его энергоэффективность; обоснованное исполнительное устройство – линейный импульсно-индукционный электромеханический преобразователь; разработанные модели и полученные закономерности как в части электрических, так и в части механических переходных процессов.

Практическую значимость представляют собой разработанная конструкция устройства для предупреждения обледенения, методика проектирования оптимального устройства по параметрам механического воздействия, токовым нагрузкам и массе. Результаты исследования реализованы в экспериментальной установке, используются в региональной сетевой компании, внедрены в учебный процесс.

### **Основные публикации и апробация работы**

По результатам диссертационного исследования опубликовано 24 работы. Основные результаты представлены в 4 статьях в изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности 05.09.03, а также в 2 статьях в зарубежных изданиях, проиндексированных в международной наукометрической базе Scopus. Имеется патент на изобретение, что подтверждает мировую новизну отражённых в нём технических решений. Дополнительная ценность патента заключается в том, что объектом патентования наряду с устройством является также способ, представляющий собой обоснование соответствующей части теоретических результатов.

Результаты диссертационной работы прошли всестороннюю апробацию на Международных, Всероссийских и межвузовских научно-практических конференциях; на Международных выставках и конкурсах. Заслуживает внимания тот факт, что работа выполнена при поддержке РФФИ по результатам конкурсного отбора научных проектов фундаментальных

научных исследований, выполняемых молодыми учеными, обучающимися в аспирантуре.

Все публикации автора включены в список литературы и на них даны ссылки в тексте, что подтверждает опубликованность всех основных результатов исследования.

**Автореферат** полностью отражает содержание диссертации, полученные результаты и положения, выносимые на защиту.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Величина паразитной индуктивности и паразитного активного сопротивления исполнительного устройства должна меняться в зависимости от количества витков индуктора и размеров бойка, однако, в расчетах используется одно и то же значение. Такие допущения должны быть дополнительно обоснованы.

2. В методике присутствует ряд параметров, для выбора которых не дано точных указаний: это решение о форме ИС и ее геометрических параметров, о точности расчетов на  $i$ -ой итерации. Критерий остановки поиска оптимального решения требует дополнительного обоснования.

3. В системе управления устройством не учтено изменение стрелы провеса провода в полете, что, вероятно, происходит при изменении температуры провода.

4. Динамическая модель позволяет произвести анализ движения устройства в зависимости от начальной скорости. Во всем остальном исследовании воздействие характеризуется временем и силой удара. Не хватает связи между этими начальными условиями, в итоге динамическая модель оказывается несколько обособленной.

### **Заключение**

Несмотря на указанные замечания, представленная диссертационная работа обладает внутренним единством, является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором



исследований изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых способствует повышению энергоэффективности борьбы с обледенением проводов ЛЭП и имеет важное значение для развития энергетики. Диссертационная работа Ратушняк В. С. удовлетворяет квалификационным требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» и паспорту специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», а именно пунктам 1, 2 и 3. Считаю, что диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент:

профессор, руководитель научно-учебной лаборатории

Систем автоматизированного проектирования

кафедры Вычислительной техники

Федерального государственного автономного

образовательного учреждения высшего образования

«Сибирский федеральный университет» (СФУ)

доктор технических наук, доцент

 Бронов Сергей Александрович

«21» 10 2021 г.

Адрес: 660041, Россия, Красноярский край,

г. Красноярск, просп. Свободный, д. 79

Тел. +7-391-206-22-22

e-mail: sbronov@sfu-kras.ru

*Отзыв получен 25.10.2021 М. Дядко*

*С отзывом ознакомлен*  
*27.10.2021 [Подпись] / Ратушняк В.С.*

Подпис

Начальн

«21» 10 2021»