

В. С. Ратушняк¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ПОСТРОЕНИЕ СХЕМНОГО РЕШЕНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ПРОВОДОВ ЛЭП

Аннотация. Статья посвящена актуальной задаче разработки устройства для предупреждения образования гололеда на проводах ЛЭП. Рассмотрены варианты места и способа крепления устройства для предупреждения гололедообразования на проводах ЛЭП и в зависимости от этого сформулированы особенности схемного решения устройства. Определен наиболее предпочтительный вариант крепления устройства: боковой, между фазными проводами. Проведен анализ процессов, происходящих при разряде накопителя энергии на индукторную систему, составлены уравнения движения бойка с присоединенным проводом. Полученные уравнения движения нужно добавить в систему дифференциальных уравнений двухконтурной схемы замещения индукторной системы для определения амплитуды отклонения провода и его ускорения при ударе сбоку и снизу. Сформулированы критерии удаления капель воды с провода в зависимости от направления удара в зависимости от амплитуды отклонения и ускорения движения провода.

Ключевые слова: обледенение ЛЭП, переохлажденные капли воды, индуктивный электромеханический преобразователь энергии, ударно-тряхивающий метод, направление удара.

V. S. Ratushnyak¹

¹ Irkutsk State Transport University (ISTU), Irkutsk, the Russian Federation

THE CONSTRUCTION OF A CIRCUIT DEVICE FOR PREVENTING ICING OF THE OVERHEAD TRANSMISSION LINES

Abstract. The article is devoted to the urgent task of developing a device for preventing the formation of ice on the wires of power lines. Variants of the location and method of mounting the device for preventing icing on the wires of power lines are considered and, depending on this, the circuit design features of the device are formulated. The most preferred option for fixing the device is defined: lateral, between phase wires. The analysis of the processes occurring during the discharge of the energy storage device to the inductor system, the equations of motion of the striker with the attached wire are made. The obtained equations of motion must be added to the system of differential equations of the two-circuit equivalent circuit of the inductor system to determine the amplitude of the deflection of the wire and its acceleration upon impact from the side and from the bottom. Criteria are formulated for the removal of water droplets from a wire, depending on the direction of impact, depending on the amplitude of the deflection and acceleration of the wire.

Keywords: ice shedding overhead transmission lines, supercooled drops of water, inductive electromechanical energy converter, shock-shaking method, direction of impact.

Введение

Провода ВЛЭП подвержены обледенению в осенне-зимний период, что нередко приводит к обрыву проводов и разрушению опор, отключению потребителей [12]. Недопущение гололедных аварий является стратегической задачей энергетических компаний [4]. В настоящее время существуют различные средства прогнозирования наледеобразования и мониторинга текущего состояния линии, способные обеспечить высокоточный контроль погодных условий [17] и обнаружение гололедных отложений толщиной от 0,5 мм [8]. Однако, зачастую работы по удалению льда начинаются лишь при угрозе гололедной аварии (по достижении стенки гололеда толщины близкой к критической), что связано в первую очередь с экономической целесообразностью применения стационарных или мобильных установок для плавки гололеда. При этом упускается возможность предупреждения гололедообразования в связи с отсутствием средств и методов для его реализации.

Риск обледенения возникает при различных погодных условиях, тем не менее, как показывают многочисленные наблюдения, наихудшие условия наблюдаются в диапазоне тем-

ператур от 0 до -10°C [7] и связаны с выпадением переохлажденного дождя. Чем холоднее поверхность, на которую осаждаются капли воды, тем быстрее происходит их замерзание. Согласно исследованиям [1, 2], на образование первого тонкого слоя льда (1,5-2 мм) требуется от 2 до 10 минут в зависимости от скорости ветра, режима замерзания (сухой или влажный), температуры окружающей среды и провода ($-10\dots-15^{\circ}\text{C}$). Откуда следует, что для предотвращения образования льда достаточно обеспечить ежеминутное удаление пленки воды с провода. Эту задачу наиболее эффективно позволит решить автоматическое ударно-встряхивающее устройство, вызывающее быстрое удаление осаждающихся на провода капель воды [9-16]. Регулируемость силы и времени удара, вызывающего стряхивание капель, может обеспечить индуктивный электромеханический преобразователь (ЭП) энергии.

Принцип действия индуктивного ЭП энергии заключается в возникновении электромагнитных сил, которые при разряде накопителя на индукторную систему (ИС) – индуктор и исполнительный элемент (боек) – вынуждают их отталкиваться друг от друга. В устройстве предупреждения гололедообразования возникающая кинетическая энергия передается с помощью штанги непосредственно на провод. Такое устройство должно обеспечивать с одной стороны достаточную изгибную деформацию провода, с другой – не допускать негативных последствий колебаний, таких как пляска проводов, вибрация или превышение допустимых нагрузок. Задачей представленного исследования явилось определение места и способа крепления ударно-встряхивающего устройства, что определяет его схемное решение.

Определение места размещения устройства

Возможные места крепления устройства для предупреждения образования льда рассмотрены с учетом строения пролета на примере ЛЭП 110 кВ [3] (табл. 1). Масса одного провода в пролете может составлять 50-500 кг. Концы провода крепятся к опорам при помощи подвесок, рядом с каждой из которых размещаются один-два гасителя вибрации. В точках подвеса на проводе располагаются спиральные усиливающие протекторы. Таким образом, провод имеет переменную по длине жесткость [6] и присоединенные сосредоточенные массы на концах порядка 50-60 кг.

Таблица 1. Основные конструктивные параметры воздушных ЛЭП 110 кВ

Подвеска		Пролет, м	Расстояние между фазами, м	Погонный вес провода, кг/м	Сечение проводов, мм ²
Длина, м	Масса, кг				
Крепление к анкерной опоре		170-250	4	~0,3-2,1	70-240
~2,5 м, в т.ч. гирлянда изоляторов ~50% от длины подвески	~45 кг, в т.ч. гирлянда изоляторов ~80% от массы подвески				
Крепление к промежуточной опоре		170-250	4	~0,3-2,1	70-240
~2 м, в т.ч. гирлянда изоляторов ~80% от длины подвески	~40 кг, в т.ч. гирлянда изоляторов ~90% от массы подвески				

Массивность деталей конструкции пролета, сосредоточенных на его концах, способна вызвать поглощение ударно-встряхивающего воздействия от устройства. Попытка преодолеть поглощение с целью распространения колебания в соседний пролет посредством увеличения интенсивности воздействия, может вызвать усталостное разрушение провода, арматуры и изоляторов. Таким образом, для обеспечения безопасности работы ударно-встряхивающего устройства и его эффективности не следует ставить задачу распространения колебаний за пределы одного пролета. Следовательно, устройство должно размещаться на каждом пролете и крепиться к каждому проводу своей исполнительной частью.

Поскольку мы определились, что область действия одного устройства равна длине пролета, то рассматривая размещение устройства будем называть части пролета слева и справа от него полупролетами. После удара устройства волна распространится по обоим полупролетам в противоположные стороны. Наибольшую интенсивность имеют изгибные деформации, возникающие под действием удара от устройства до первого отражения от концов пролета. Таким образом, возможные места размещения ограничиваются областью от подвески до середины пролета. Рассмотрим крайние варианты размещения.

Размещая устройство в непосредственной близости к зажиму, соединяющему провод и подвеску, мы получаем один полупролет равным нулю, а второй – длине пролета. Поскольку изгибная жесткость провода повышается с приближением к местам крепления, следовательно, устройству будет требоваться большая сила, чтобы вызвать необходимое воздействие во втором пролете. В то же время, доля энергии изгибной волны в первом полупролете поглотится подвеской ввиду значительности ее массы. Размещение устройства в центре пролета обеспечит равноценное распространение воздействия в обе стороны, в отличие от смещенного размещения к одному из концов. Таким образом, в качестве места размещения исполнительного устройства предпочтительнее рассматривать центр пролета.

Анализ влияния способа крепления устройства на его конструктивное исполнение

Устройство может крепиться к проводу снизу, и соответственно сообщать ударные воздействия в вертикальной плоскости, или же устройство может крепиться к проводу сбоку, устанавливаясь враспор между фазными проводами с помощью упругих штанг из диэлектрического материала.

Общим для обоих типов крепления является то, что внутри такого устройства должны располагаться все функциональные части, включая накопители энергии, управляющие платы и т.д. Таким образом, минимальная масса устройства обусловлена функциональными требованиями к нему и комплектующими, обеспечивающими эти требования. Соединение устройства с проводом при любом способе крепления должно быть жестким, что обеспечит полную передачу механического воздействия, которое генерирует ИС. Питание устройства осуществляется бесконтактным способом от провода, по типу токовых клещей.

При боковом размещении ударно-встрягивающего устройства предполагается, что концы штанги упираются в пару проводов (рис. 1). В связи с этим одной из важнейших задач является обеспечение необходимой электрической прочности. Например, крепление между фазными проводами двухцепной линии, где разность напряжения не превышает 100 В и изготовление штанги и других частей устройства из легких, но прочных изоляционных материалов (полимеры) обеспечит требуемую электрическую прочность. Боковой тип крепления устройства может обеспечить дополнительную защиту от пляски проводов. Для этого в штангу устройства должна монтироваться амортизационная система – воздушный поршень. Преимуществом такого типа крепления устройства является равенство масс, отталкиваемых индукторной системой, поскольку на противоположных концах штанги закреплены одинаковые провода. За один удар происходит предотвращение гололедообразования сразу на паре проводов. Однако, боковое крепление больше подходит для двухцепных ЛЭП, которые бывают только на высоких классах напряжения.

При разряде накопителя энергии на ИС, возникающая электромагнитная сила отталкивает индуктор и боек. Этому движению препятствуют возвратные пружины, трение о корпус и провод. При чем масса провода, сопротивляющаяся движению бойка, увеличивается постепенно и зависит от скорости распространения возмущения. Будем рассматривать движение бойка, штанги и присоединенного к нему провод как движение тела с изменяемой массой $m_{\text{бoйк}} + \frac{dm_{\text{пpов}}}{dt}$. Составим уравнение движения (1):

$$\left(m_{\text{бoйк}} + \frac{dm_{\text{пpов}}}{dt}\right)a_{\text{np}} = F_{\text{y}\delta} - \mu\left(m_{\text{бoйк}} + \frac{dm_{\text{пpов}}}{dt}\right)g - k(x + \Delta x) \quad (1)$$

где a_{np} – ускорение движения бойка, $F_{\text{y}\delta}$ – электромагнитная сила, μ – коэффициент трения о корпус, g – ускорение свободного падения, k – коэффициент жесткости возвратной пружины, x – абсо-

лютное перемещение бойка, Δx – величина начального сжатия возвратной пружины. Для индуктора уравнение движения выглядит аналогично.

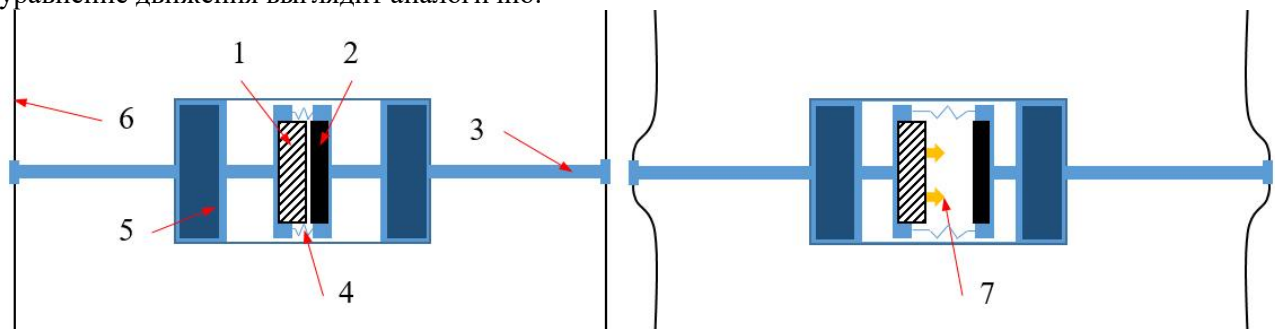


Рис. 1. Способ крепления ударно-встряхивающего устройства сбоку (вид сверху): 1 – индуктор; 2 – боек; 3 – штанга с амортизационной системой; 4 – возвратные пружины; 5 – функциональный блок; 6 – провод ЛЭП; 7 – электромагнитная сила

При креплении устройства снизу конструкция может иметь исполнение индуктора, находящегося между бойком и проводом. В этом исполнении недостатком может быть искажение сил магнитной индукции, отталкивающих боек и как следствие, снижение к.п.д. преобразования в механическую энергию. При возникновении электромагнитной силы индуктор движется вверх до контакта с возвратными пружинами, а боек с корпусом и проводом движется вниз. Составим уравнение движения (2):

$$\left(m_{\text{бoйк}} + \frac{dm_{\text{npoc}}}{dt}\right)a_{\text{np}} = F_{\text{yд}} + \left(m_{\text{бoйк}} + \frac{dm_{\text{npoc}}}{dt}\right)g - f(x, T, F_{\text{yд}}) \quad (2)$$

где a_{np} – ускорение движения бойка, $F_{\text{yд}}$ – электромагнитная сила, g – ускорение свободного падения, f – функция силы сопротивления провода движению бойка, зависящая от абсолютного перемещения x , тяжения T и ударной силы.

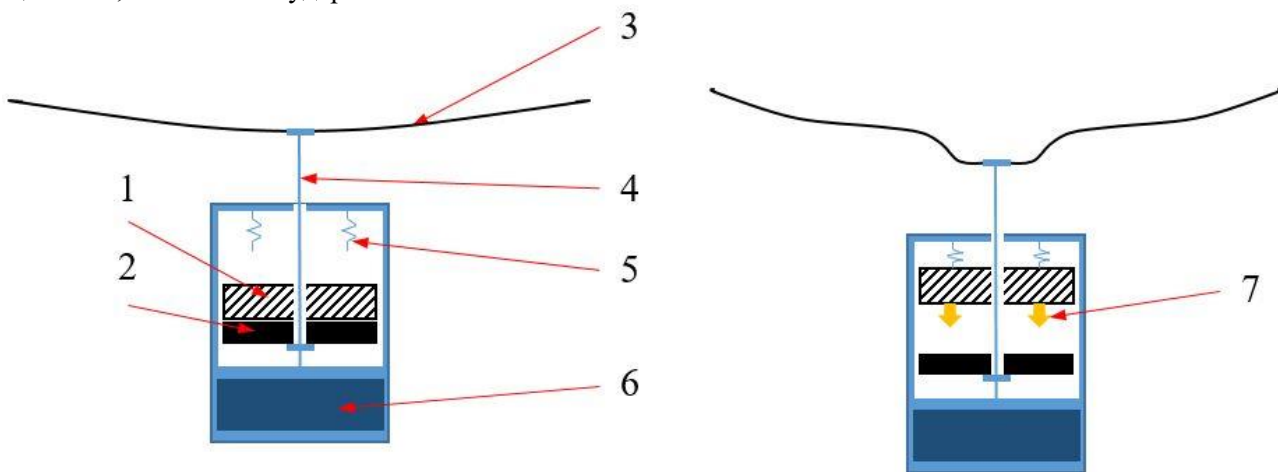


Рис. 2. Способ крепления ударно-встряхивающего устройства снизу (вид сбоку): 1 – индуктор; 2 – боек; 3 – провод ЛЭП; 4 – штанга; 5 – возвратная пружина; 6 – функциональный блок; 7 – электромагнитная сила

Анализ влияния направления удара на удаление капли

Будем рассматривать удаление висящей капли на основании того, что капли воды под действием силы тяжести скатываются с верхних и боковых сторон провода и собираются внизу. Строго говоря, форма висящей капли отличается от формы сектора шара, однако это отличие невелико и для наших расчетов мы им пренебрежем. Таким образом, заменим каплю ее математической моделью в сферическом приближении [5] – сектором шара высотой h и радиусом основания r .

Рассмотрим критерии удаления капель воды с провода при боковом креплении устройства (смещение провода происходит в горизонтальной плоскости). На кинематической схеме (рис. 3) изображен провод в поперечном сечении с висящей каплей.

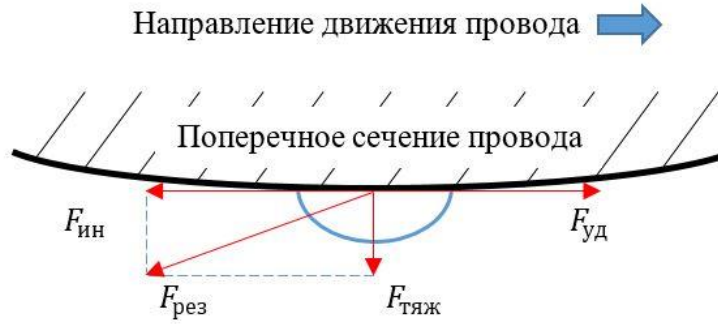


Рис. 3. Кинематическая модель капли воды при боковом ударе

Определим критерий срыва капли через превышение результирующей силой инерции силы поверхностного натяжения капли (3):

$$F_{рез} \geq 2\pi r \sigma \quad (3)$$

Действующая результирующая сила инерции, сообщенная капле, зависит от ускорения, с которым движется провод, то есть определяется из уравнения (4):

$$F_{рез} = \sqrt{(m_{кап} a_{пр})^2 + (m_{кап} g)^2} \quad (4)$$

Известно [15], что радиус срываемой капли зависит от амплитуды вибрации. Примем, что амплитуда колебаний провода должна быть больше диаметра висящей капли (5):

$$A_{min} \geq 2r \quad (5)$$

Для капли радиусом 1 мм, высотой 0,6 мм и массой 1 мг провод должен получить ускорение не менее 475 м/с^2 и отклониться не менее, чем на 2 мм.

Рассмотрим критерии удаления капель воды с провода при нижнем креплении устройства (смещение провода происходит в вертикальной плоскости) (рис. 4). Учтем, что на этапе движения вниз капля под действием силы инерции расплющивается на проводе, ее радиус увеличивается до r_1 , а высота уменьшается до h_1 .

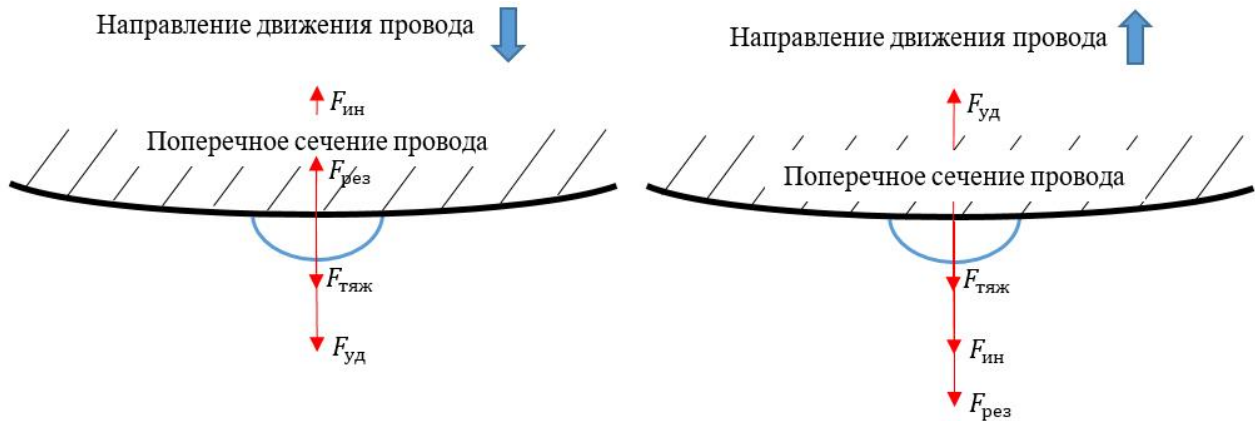


Рис. 4. Кинематическая модель капли воды при ударе снизу

Для определения формы поверхности капли в этом случае воспользуемся методом, основанным на численном решении уравнения Лапласа [5], позволяющем учесть действие силы тяжести (6):

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dl} = 2b - \frac{(a_{пр} - g)\Delta\rho x}{\sigma} - \frac{\sin \varphi}{x} \\ \frac{dx}{dl} = \cos \varphi \\ \frac{dz}{dl} = \sin \varphi \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом требуется большая результирующая сила инерции, чтобы обеспечить срыв капли на этапе движения провода вверх (7):

$$F_{рез} \geq 2\pi r_1 \sigma \quad (7)$$

Кроме этого, амплитуда колебаний провода должна быть больше диаметра висящей капли, который возрос в силу того, что капля сплющилась (8):

$$A_{\min} \geq 2r_1 \quad (8)$$

С другой стороны, действующая результирующая сила инерции, сообщенная капле на этапе движения провода вверх больше, чем при боковом ударе (9):

$$F_{рез} = m_{кан} a_{пр} + m_{кан} g \quad (9)$$

Для капли радиусом 1,2 мм, высотой 0,4 мм и массой 1 мг провод должен получить ускорение не менее 465 м/с^2 и отклониться не менее, чем на 2,4 мм. Таким образом, для удаления висящие капли ударом сбоку и снизу требуются ускорения и перемещения одного порядка.

Заключение

Образование льда на проводах – сложный многоэтапный процесс. При неблагоприятных погодных условиях и температуре подложки близкой к 0°C происходит кристаллизация водной пленки. Продолжительность этого процесса невелика – несколько минут. Однако, своевременное удаление незамерзших капель воды способно предупредить гололедообразование. В статье предложен принцип действия исполнительного устройства ударно-стряхивающего действия. Рассмотрены вопросы радиуса действия устройства в зависимости от особенностей строения пролета ЛЭП, возможные места размещения и способы крепления. Определен наиболее предпочтительный вариант крепления устройства: боковой, между фазными проводами. При этом за один удар происходит предотвращение гололедообразования сразу на паре проводов, что энергетически более эффективно по сравнению с креплением устройства снизу. Боковой тип крепления устройства может обеспечить дополнительную защиту от пляски проводов. При боковом типе размещения устройства требуется в два раза меньше устройств из расчета на количество проводов, чем при размещении снизу. Сформулированные критерии, позволяют утверждать, что для удаления капель воды достаточно встряхнуть провод с амплитудой в несколько миллиметров.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90188. The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90188.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеенко С.В., Приходько А.А. Исследование замерзания переохлажденной капли воды // Модели и методы аэродинамики: материалы XVI Междунар. школы-семинара, Евпатория, 05-12 июня 2016 г. М.: ЦАПИ. 2016. С. 10–12.
2. Гринац Э.С., Миллер А.Б., Потапов Ю.Ф., Стасенко А.Л. Экспериментальные и теоретические исследования процессов обледенения наномодифицированных супергидрофобных и обычных поверхностей // Вестник МГОУ. Сер. «Физика - Математика». 2013. № 3. С. 84–92.
3. Зарудский Г.К. Линия электропередачи [Электронный ресурс] // Большая российская энциклопедия. 2017. URL: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/2146410 (дата обращения: 29.05.2020).
4. Колмаков В.О. Схемотехническое обеспечение качества электрической энергии в сетях с нелинейными электроприемниками массового применения: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2015.
5. Матюхин С.И., Фроленков К.Ю. Форма капель жидкости, помещенных на твердую горизонтальную поверхность // Конденсированные среды и межфазные границы. 2013. № 3. С. 292–304.
6. Мельников А.А., Рыжов С.В. Повышение надежности воздушных линий электропередачи – эффективные решения с применением спиральной арматуры АО «Электросетьстройпроект» [Электронный ресурс] // Пути повышения надежности, эффективности и безопасности энергетического производства: материалы XX всерос. науч. конф., 2017. URL: <http://kka-rntoee.ru/reports/i13> (дата обращения: 29.05.2020).
7. Мещерякова Т.П. Проектирование систем защиты самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1977.

8. Минуллин Р.Г., Горюшин Ю.А., Борщевский А.И., Касимов В.А., Яруллин М.Р. Опыт многоканального локационного мониторинга гололеда на линиях электропередач // Энергетика Татарстана. 2015. № 2(38). С. 19–27.
9. Орленко А.И., Юрьев А.В., Ильин Е.С., Ратушняк В.С. Опыт применения электроимпульсных технологий в интересах транспортной отрасли // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы III Междунар. науч. конф., Москва, 11-12 октября 2018 г. Изд-во ООО "ЛокоТех". 2018. С. 281–288.
10. Ратушняк В.С., Трухина И.С., Юрьев А.В., Трегубов С.И. Основные вопросы проектирования устройства для удаления наледи с проводов линий электропередачи // Современные проблемы радиоэлектроники: материалы XXI всерос. науч. конф., Красноярск, 03-04 мая 2018 г. Красноярск: СФУ, 2018. С. 384–387.
11. Ратушняк В.С., Юрьев А.В., Ильин Е.С., Трухина И.С., Ратушняк В.С. Способ и устройство для удаления наледи с проводов линий электропередачи: пат. 2666754 Российская Федерация, МПК Н 02 G 7/16; ООО НПП «СибТрансНаука». – № 2017136405; заявл. 16.10.17; опубл. 12.09.18, Бюл. №26.
12. Ратушняк В.С., Ратушняк В.С., Ильин Е.С., Вахрушева О.Ю. Статистический анализ аварийных отключений электроэнергии из-за гололедообразования на проводах ЛЭП на территории РФ // Молодая наука Сибири. 2018. № 1 (1). С. 107–113.
13. Ратушняк В.С., Ратушняк В.С., Ильин Е.С., Вахрушева О.Ю. Некоторые аспекты выбора средств борьбы с гололедными отложениями на ЛЭП // Известия Транссиба. 2019. № 1 (37). С. 102–111.
14. Ратушняк В.С., Ильин Е.С., Ратушняк В.С. Метод экспериментального исследования ударного воздействия на провод ЛЭП // Computational nanotechnology. 2019. № 2. С. 33–38.
15. Розина Е.Ю. Капиллярно-вибрационное распыление жидкости // Акустичний вісник. 2002. Т.5 №2. С. 43–53.
16. Сергиенко Т.А., Ильин Е.С., Ратушняк В.С., Юрьев А.В. Аппаратный комплекс по удалению наледи с водостоков и карнизов зданий электроимпульсным способом // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: материалы XIX межвуз. науч. конф., Красноярск, 26-27 октября 2015 г. Красноярск: КрИЖТ ИрГУПС, 2015. С. 73–76.
17. Титов, Д.Е. Мониторинг интенсивности гололедообразования на воздушных линиях электропередачи и в контактных сетях: дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2014.

REFERENCES

1. Alekseenko S.V., Prihod'ko A.A. Issledovanie zamerzaniya pereohlazhdennoj kapli vody [Freezing study of a supercooled drop of water]. *Modeli i metody aerodinamiki [Models and methods of aerodynamics]*, 2016, pp. 10–12.
2. Grinac E.S., Miller A.B., Potapov YU.F., Stasenko A.L. Eksperimental'nye i teoreticheskie issledovaniya processov obledeneniya nanomodifirovannyh supergidrofobnyh i obychnyh poverhnostej [Experimental and theoretical studies of icing processes of nanomodified superhydrophobic and ordinary surfaces]. *Vestnik MGOU [Herald MGOU]*, 2013, No. 3. pp. 84–92.
3. Zarudskij G.K. Liniya elektroperedachi [Power line]. *Bol'shaya russijskaya enciklopediya [Great Russian Encyclopedia]*, 2017, URL: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/2146410.
4. Kolmakov V.O. Skhemotekhnicheskoe obespechenie kachestva elektricheskoy energii v setyah s nelineynymi elektropriemnikami massovogo primeneniya [Circuit design for the quality of electric energy in networks with non-linear power consumers of mass application]: In: Ph.D. Thesis. Krasnoyarsk, 2015.
5. Matyuhin S.I., Frolenkov K.YU. Forma kapel' zhidkosti, pomeshchennyh na tverduyu gorizont-tal'nuyu poverhnost' [The shape of liquid droplets placed on a solid horizontal surface]. *Kondensirovannyye sredy i mezhfaznye granicy [Condensed matter and interfaces]*, 2013, No. 3, pp. 292–304.

6. Mel'nikov A.A., Ryzhov S.V. Povyshenie nadezhnosti vozdukhnykh linij elektro-peredachi – effektivnye resheniya s primeneniem spiral'noj armatury AO «Elektoset'-strojproekt» [Improving the reliability of overhead power lines - effective solutions using spiral fittings of JSC “Electric Network-Construction Project”]. *Puti povysheniya nadezhnosti, effektivnosti i bezopasnosti energeticheskogo proizvodstva* [Ways to improve the reliability, efficiency and safety of energy production], 2017. URL: <http://kka-rntoee.ru/reports/i13>.
7. Meshcheryakova T.P. Proektirovanie sistem zashchity samoletov i vertoletov [Design of aircraft and helicopter protection systems], 1977.
8. Minullin R.G., Goryushin YU.A., Borshchevskij A.I., Kasimov V.A., YArullin M.R. Opyt mnogokanal'nogo lokacionnogo monitoringa gololeda na liniyah elektroperedach [Experience of multichannel location-based monitoring of ice on power lines]. // *Energetika Tatarstana* [Energy of Tatarstan], 2015, No. 2(38), pp. 19–27.
9. Orlenko A.I., YUr'ev A.V., Il'in E.S., Ratushnyak V.S. Opyt primeneniya elektroimpul'snykh tekhnologij v interesah transportnoj otrasli [Experience in the application of electro-pulse technologies in the interests of the transport industry]. *Perspektivy razvitiya servisnogo obsluzhivaniya lokomotivov* [Prospects for the development of service for locomotives], 2018, pp. 281–288.
10. Ratushnyak V.S., Truhina I.S., YUr'ev A.V., Tregubov S.I. Osnovnye voprosy proektirovaniya ustrojstva dlya udaleniya naledi s provodov linij elektroperedachi [The main issues of designing a device for removing ice from the wires of power lines]. *Sovremennye problemy radioelektroniki* [Modern problems of radio electronics], 2018, pp. 384–387.
11. Ratushnyak V.S., YUr'ev A.V., Il'in E.S., Truhina I.S., Ratushnyak V.S. Sposob i ustrojstvo dlya udaleniya naledi s provodov linij elektroperedachi [Method and device for removing ice from wires of power lines], patent No. 2666754, 12.09.18.
12. Ratushnyak V.S., Ratushnyak V.S., Il'in E.S., Vahrusheva O.YU. Statisticheskij analiz avarijnykh otklyuchenij elektroenergii iz-za gololedoobrazovaniya na provodah LEP na territorii RF [Statistical analysis of emergency power outages due to icing on power lines in the Russian Federation]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2018, No. 1 (1), pp. 107–113.
13. Ratushnyak V.S., Ratushnyak V.S., Il'in E.S., Vahrusheva O.YU. Nekotorye aspekty vybora sredstv bor'by s gololednymi otlozheniyami na LEP [Some aspects of the choice of means of dealing with icy deposits on power lines]. *Izvestiya Transsiba* [News of the Trans-Siberian Railway], 2019, No. 1 (37), pp. 102–111.
14. Ratushnyak V.S., Il'in E.S., Ratushnyak V.S. Metod eksperimental'nogo issledovaniya udar-nogo vozdejstviya na provod LEP [The method of experimental study of impact on the power line wire]. *Computational nanotechnology*, 2019, No. 2, pp. 33–38.
15. Po Rozina E.YU. Kapillyarno-vibracionnoe raspylenie zhidkosti [Capillary-Vibratory Spraying Liquid] *Akustichnij visnik* [Acoustic messenger], 2002, T.5, No. 2, pp. 43–53.
16. Sergienko T.A., Il'in E.S., Ratushnyak V.S., YUr'ev A.V. Apparatnyj kompleks po udaleniyu naledi s vodostokov i karnizov zdaniy elektroimpul'snym sposobom [The hardware complex for removing ice from gutters and eaves of buildings using the electric pulse method]. *Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta* [Problems and prospects for the development of railway transport], 2015. С. 73–76.
17. Titov, D.E. Monitoring intensivnosti gololedoobrazovaniya na vozdukhnykh liniyah elektroperedachi i v kontaktnykh setyah [Monitoring of icing intensity on overhead power lines and contact networks]: In: Ph.D. Thesis. Saratov, 2014.

Информация об авторах

Ратушняк Валентина Сергеевна – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: ratushnyak_vas@krsk.irkups.ru

Authors

Valentina Sergeevna Ratushnyak – The post-graduate student of the department «Automation of production processes», Irkutsk State Transport University (ISTU), Krasnoyarsk, e-mail: ratushnyak_vas@krsk.irkups.ru

Для цитирования

Ратушняк В.С. Построение схемного решения устройства для предупреждения обледенения проводов ЛЭП [Электронный ресурс] / В.С. Ратушняк // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – No 2(8). – Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/28-20>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 29.05.2020)

For citation

Ratushnyak V.S. Postroenie shemnogo reshenija ustrojstva dlja preduprezhdenija obledeneni-ja provodov LJeP [Electronic resource] / Ratushnyak V.S. // Young science of Siberia: electron. scientific journal -2020. -No. 2(8). -Access mode: <http://mnv.irkups.ru/toma/28-20>, free. -Zagl. from the screen. -Yaz. Russian, English (date of the application: 29.05.2020).