

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРЕЛЫ ПРОВЕСА ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В УСТРОЙСТВЕ МОНИТОРИНГА ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.И. Пантелеев, А.В. Малеев

Сибирский Федеральный Университет, Политехнический институт, г. Красноярск

Стрела провеса является важным параметром для безопасной эксплуатации воздушных линий электропередачи и может быть использована в качестве одного из основополагающих критериев анализа интенсивности гололедообразования. В данной статье рассматривается возможность определения стрелы провеса при закреплении на одном из проводов фазы датчика, измеряющего угол между проводом и плоскостью земли в непосредственной близости от опоры.

Для формализации эмпирической зависимости был проведен натурный эксперимент, моделирующий физические свойства провеса провода ВЛ, размещенного на опорах. Обработка полученных данных и аппроксимация эмпирической функции была реализована в среде MATLAB. После обработки данных была получена эмпирическая функция, которая может быть использована в автономных системах мониторинга для контроля стрелы провеса провода.

Автономное устройство мониторинга гололедной обстановки на проводах ВЛ, разработанное авторами, для которого была найдена рассматриваемая эмпирическая зависимость, позволяет следить за интенсивностью гололедообразования, а также контролировать массу гололедных отложений и среднюю толщину стенки гололеда. Информация о гололедной обстановке передается на диспетчерский пункт посредством GSM модема.

Увеличение интенсивности гололедных отложений вызывает увеличение стрелы провеса провода, относительно его колебаний, обусловленных технологическими параметрами, поэтому система мониторинга гололеда включающая анализ угла провеса провода является аналогом тензометрических датчиков тяжения, но не требует реконструкции ВЛ и отключения последней на время модернизации. Устройство оборудовано также дополнительными датчиками, что позволяет увеличить вероятность правильного обнаружения опасной гололедной обстановки.

Ключевые слова: гололедообразование, системы мониторинга воздушных линий электропередачи, стрела провеса провода, физическое моделирование, температура провода.

ВВЕДЕНИЕ

Стрела провеса — важнейший параметр воздушных линий электропередачи, гарантирующий надёжность и безопасность работы электроустановки. Для предотвращения предельных физических нагрузок, приводящих к разрыву провода, воздушные линии изначально проектируются с учётом изменения длины проводов от температуры окружающего воздуха, токовой загрузки, гололедной обстановки и т.п [1].

Авторами статьи разработано автономное устройство мониторинга гололедной обстановки на проводах ВЛ позволяющее следить за интенсивностью гололедообразования, а также контролировать массу гололедных отложений и среднюю толщину стенки гололеда по результатам измерения стрелы провеса провода. Информация о гололедной обстановке передается на диспетчерский пункт посредством GSM модема [2].

Разработанное устройство размещается на проводе в непосредственной близости от гирлянды изоляторов, питание получает от силового провода. Решение о наличии или отсутствии гололеда принимается на основании анализа результатов измерений нескольких физических датчиков, один из

которых отслеживает угол наклона провода относительно горизонтального положения.

В данной статье рассматривается возможность определения стрелы провеса при закреплении на одном из проводов фазы датчика, измеряющего угол между плоскостью земли и проводом в некоторой точке на расстоянии x от опоры (см. рис. 1).

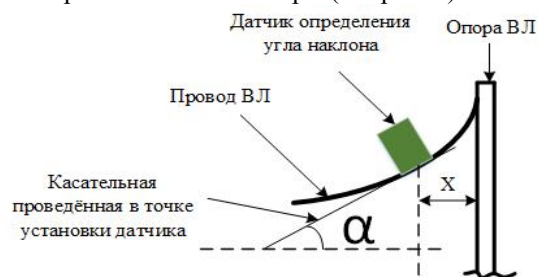


Рис. 1. Место установки датчика определения угла наклона на проводе ВЛ

Расстояние x на котором возможно установить датчик определяющий угол наклона в точке, как правило, совпадает с местом установки виброгасителей и составляет от 0,5 до 2,5 м от гирлянды изоляторов. Это расстояние растёт с ростом класса номинального напряжения ВЛ.

Расчет стрелы провеса будет возможен только после измерения угла наклона провода относительно горизонтального положения и определения эмпирической функции, характеризующей положение провода во всех точках между опорами. В литературе, посвященной расчетам воздушных линий электропередачи, рассмотрены математические зависимости, учитывающие провисания фазных проводов и грозозащитных тросов, однако для практических расчетов, автономными устройствами мониторинга, прецизионные вычисления осложнены техническими особенностями применяемых микропроцессорных устройств и в общих случаях нецелесообразны. Для формализации эмпирической зависимости и получения простых расчетных выражений, обладающих требуемой математической точностью, был проведен натурный эксперимент, моделирующий физические свойства провеса провода ВЛ, размещенного на опорах. Соблюдение пропорций, отражающих существующие геометрические размеры пролета ВЛ с применением реальных токоведущих проводов практически невозможно, поэтому на основании теории моделирования был проведен физический эксперимент с кратным уменьшением существующих габаритов [3]. Полученные при таком эксперименте результаты измерений стрелы провеса провода, можно пересчитать применимо к реальным расстояниям пролёта ВЛ.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для примера получим эмпирическую функцию, которая описывает положение провода между опорами для ВЛ 110 кВ. Примем расстояние между опорами равным 200 м, а стрелу провеса 3,0 м. Реализовать полное соответствие физических размеров, как указано ранее, для данного эксперимента практически невозможно, поэтому уменьшим указанные расстояния пропорционально, например, в 25 раз. Тогда расстояния между опорами в лабораторных условиях составит 8 м, а стрела провеса будет составлять 0,12 м. В качестве проводника используется эластичный провод меньшего сечения.

Результаты замеров, с учетом приведения к реальным длинам, представлены в табл. 1. Графически, данная зависимость представлена на рисунке 2.

Табл. 1 – Результаты измерения координат положения провода для проведенного эксперимента

$L, \text{ м}$	-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
$f, \text{ м}$	0	-1,20	-2,00	-2,65	-3,00	-2,65	-2,00	-1,20	0

Обработку полученных данных и аппроксимацию эмпирической функции реализуем в среде MATLAB [4].

Полученные эмпирические функции и погрешности при аппроксимации экспериментальных данных представлены на рисунке 3.

Анализ результатов аппроксимации показывает, что полином 5-ой степени имеет наименьшую погрешность моделирования положения провода между опорами.

Следует отметить, что по величине стрелы провеса можно косвенно определить массу гололедных отложений - чем больше стрела провеса, тем больше масса провода с учетом гололеда. Система мониторинга может следить за предельной стрелой провеса, которая свидетельствует о необходимости начала плавки гололеда или контролировать плавное изменение последней, что свидетельствует об интенсивном гололёдообразовании. В любом случае, первичным измерением является угол наклона провода в горизонтальной плоскости в месте установки фиксирующего датчика.

Определим, угол наклона провода, при превышении которого стрела провеса превысит, например, значение трех метров. Таким образом, может быть реализован релейный способ принятия решения для начала плавки гололеда.

Продифференцируем уравнение полинома с наименьшей погрешностью аппроксимации и вычислим значение функции в точке установки датчика определяющего угол наклона. Предположим, датчик установлен на расстоянии 1,0 м от поддерживающего изолятора, $x_{\text{дат}} = (200/2) - 1 = 99,0 \text{ м}$, продифференцируем полученный полином, вычислив значение производной в точке установки датчика и определим угол наклона касательной в этой точке. Для автоматизации процесса вычислений применим разработанную авторскую программу в пакете символьного вычисления среды MATLAB, результат которой формирует значение угла $a = 2,669^\circ$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Образование гололедных наростов на проводах воздушных линий электропередач является серьезной проблемой для энергосетевых компаний. Гололедные отложения причиняют большой ущерб линиям электропередач и могут приводить к таким явлениям, как обрыв проводов, тросов, повреждению арматуры и даже обрушениям опор [5].

Своевременное обнаружение гололеда позволит вовремя применить эффективные меры по борьбе с ним, и, как следствие, уменьшит экономический ущерб от данного погодного явления.

Увеличение интенсивности гололедных отложений вызывает прирост стрелы провеса провода, относительно его колебаний, обусловленных

технологическими параметрами, поэтому система мониторинга гололеда, включающая анализ угла провеса провода, является аналогом тензометрических датчиков тяжения, но не требует реконструкции ВЛ и отключения последней на время модернизации. При использовании дополнительных датчиков температуры провода и окружающей среды, вероятность своевременного обнаружения опасной гололедной обстановки составляет не менее 95%, что в несколько раз выше показателей существующих систем обнаружения на принципе «погодных станций» [6]. При этом, стоимость разработанной авторами системы оценки интенсивности гололедообразования, на основании анализа стрелы провеса провода, многократно меньше существующих.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Левченко И.И., Засыпкин А.С., Аллилуев А.А., Сацук Е.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах: Учеб. пособие. М.: Изд. дом МЭИ, 2007.
2. Пантелеев В. И., Малеев А. В. Система мониторинга интенсивности гололедообразования на проводах воздушной линии электропередачи // Омский научный вестник. 2020. № 6 (174). С. 74–80. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-174-74-80.
3. Веников В.А. Теория подобия и моделирования: Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., доп. и перераб. М.: Высшая школа, 1976.
4. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. – М.: Солон-Р, 2005.
5. Минуллин Р.Г. и др. Обнаружение гололедных образований на линиях электропередачи локационным зондированием. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 207 с.
6. Панасенко М.В., Брыкин Д.А. Обзор используемых устройств обнаружения отложений для систем мониторинга воздушных линий электропередачи // Воздушные линии. - 2012.– №3.–С.79-82.

Пантелеев Василий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электротехнические комплексы и системы» Политехнического института Сибирского федерального университета. e-mail: pvi0808@rambler.ru.

Малеев Андрей Владимирович, старший преподаватель кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы» Политехнического института Сибирского федерального университета. e-mail: sos947@yandex.ru.

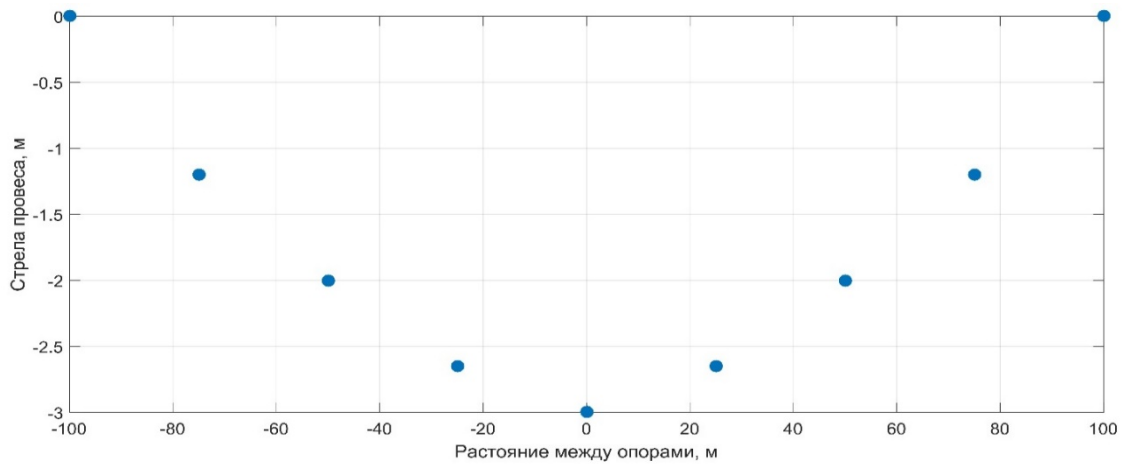


Рис. 2. Координат точек стрелы провеса между опорами ВЛ

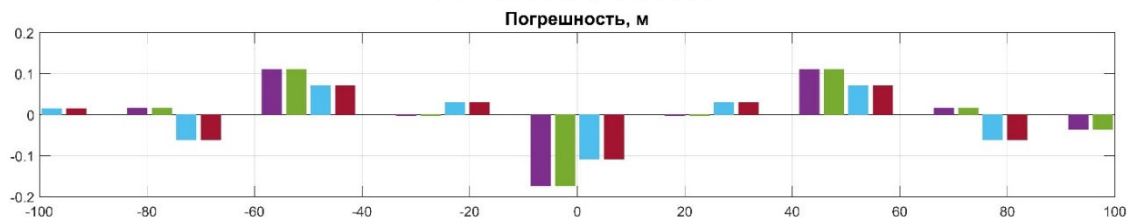
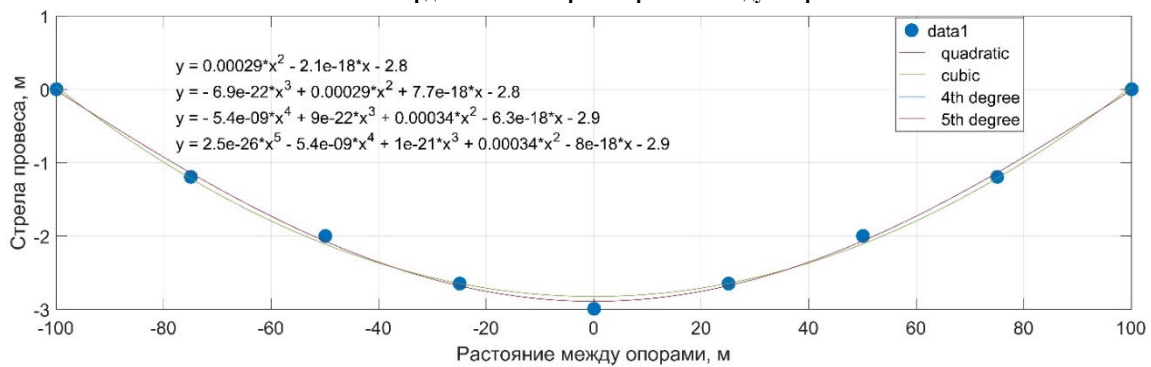


Рис. 3 – Уравнения аппроксимации для различных полиномов и погрешности аппроксимации в виде гистограмм (на данном графике y- стрела провеса, x- расстояние между опорами)

DETERMINATION OF WIRE SWING BOOM OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES IN ICE FORMATION MONITORING DEVICE BASED ON PHYSICAL SIMULATION RESULTS

V.I. Pantelev, A.V. Maleev
Siberian Federal University, Krasnoyarsk

The sagging boom is an important parameter for the safe operation of overhead power lines and can be used as one of the fundamental criteria for the analysis of ice formation intensity. This article discusses the possibility of determining the sagging boom when a sensor phase is fixed to one of the wires, which measures the angle between the wire and the ground plane in the immediate vicinity of the support.

To formalize empirical dependence, a full-scale experiment was conducted that simulates the physical properties of the LL wire held on supports. The processing of the obtained data and the approximation of the empirical function were implemented in the MATLAB environment. After processing the data, an empirical function was obtained that can be used in autonomous monitoring systems to control the wire sagging boom. An Autonomous device for monitoring the ice situation on the overhead lines, developed by the authors, for which the empirical dependence was found, allows to monitor the intensity of ice formation, as well as to control the mass of ice deposits and the average thickness of the ice wall. Information about the ice conditions is transferred to the control station via GSM modem.

An autonomous device for monitoring the ice situation on VL wires, developed by the authors, for which the considered empirical dependence was found, allows you to monitor the intensity of ice formation, as well as control the mass of ice deposits and the average thickness of the ice wall. Ice information is transmitted to the control room via the GSM modem.

Increasing the intensity of icy deposits causes an increase in the wire sag boom relative to its fluctuations due to process parameters, therefore, the ice monitoring system including analysis of the wire sag angle is an analogue of strain gauges, but does not require reconstruction of the VL and disconnection of the latter during modernization. The device is also equipped with additional sensors, which increases the probability of correct detection of a dangerous ice situation.

Keywords: ice formation, monitoring systems of overhead power transmission lines, wire sagging boom, physical modeling, wire temperature.

REFERENCES

1. Levchenko I. I., Zasytkin A. S., alliluyev A. A., Satsuk E. I. Diagnostics, reconstruction and operation of overhead power lines in icy areas: Textbook. m.: publishing house of MEI, 2007.
2. Pantelev V. I., Maleev A. V. System for monitoring the intensity of icing on the wires of the overhead power transmission line//Omsk Scientific Bulletin. 2020. № 6 (174). P. 74–80. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-174-74-80.
3. Venikov V. A. Theory of similarity and modeling: textbook for universities. - 2nd ed., add. and pererab. M.: Higher school, 1976.
4. Diakonov V. P. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 in mathematics and modeling. - M.: Solon-R, 2005.
5. Minullin R. G. et al. Detection of ice formations on power lines by location sensing. Kazan: Kazan state energy. UN-t, 2010. 207 p.
6. Panasenko M. V., Brykin D. A. Overview of used Deposit detection devices for monitoring systems of overhead power lines // Airline. - 2012. - no. 3. - P. 79-82.

Pantelev Vasily Ivanovich, - doctor of technical Sciences, Professor, Siberian Federal University. e-mail: pvi0808@rambler.ru.

Maleev Andrey Vladimirovich - senior lecturer, Siberian Federal University. e-mail: sos947@yandex.ru.