

The article deals with the problem of high energy costs for street lighting and proposes an automated control system for outdoor lighting developed at KGEU. The system will allow you to automatically adjust the illumination of street lamps depending on the level of natural light, and will also allow you to control the lighting using a web site.

УДК 621.311

**НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ВЕРИФИКАЦИИ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРЕЛЫ ПРОВЕСА ПРОВОДА ПО ПЕРИОДУ ЕГО СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ**

*Хамидуллин И.Н., Ярославский Д.А., Новокрещенов В.В.*

*79534929817@yandex.ru*

Научный руководитель: М.Ф. Садыков, д.т.н., доцент  
(Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

**Аннотация.** Эффективность и надежность передачи энергии определяется состоянием сетей электроснабжения. Поэтому мониторинг технического состояния воздушных линий электропередач (ЛЭП) позволяет решить многие проблемы в этой области и является актуальным направлением. При обследовании линий электропередачи возникает необходимость в определении стрелы провеса провода воздушной линии, так как это самый важный параметр [1-3], и многие системы мониторинга нацелены именно на его определение. В связи с этим был предложен метод определения стрелы провеса провода по периоду его собственных колебаний с учетом разницы высот точек подвеса. Для верификации разработанного метода были проведены натурные испытания на ЛЭП 110 кВ.

**Введение**

Климатические условия являются одними из определяющих факторов в расчёте колебательных циклов воздушных линий электропередач (ЛЭП). Связано это с тем, что металлы, используемые при изготовлении проводов, имеют свойство расширяться при высоких температурах и сжиматься при низких. Тепловое расширение проводов в летний период приводит к увеличению провиса ЛЭП. Зимой же, в период пониженных температур, провис проводов наоборот уменьшается. С целью предотвращения аварийных ситуаций необходимо контролировать стрелу провеса провода ЛЭП [4-9]. Предлагается метод определения стрелы провеса провода по периоду его собственных колебаний с учетом разницы высот точек подвеса.

**Математическая модель**

Представим себе провод в пролете воздушной линии электропередачи как полностью жесткую монолитную изотропную конструкцию с только одной степенью свободы, вращающейся от оси, проходящей через точки подвеса. Стрела провеса ЛЭП рассчитывается по формуле [1]

$$f \approx 0,31 T^2 \tag{1}$$

где:  $f$  – стрела провеса провода, м;  $T$  – период колебаний в секундах. Более подробный вывод формулы описан в статье [10].

Данный метод прост в реализации, проводится дистанционно и имеет низкую себестоимость, кроме того, для реализации метода измерения стрелы провеса не нужна дополнительная информации о пролете (длина пролета, тип провода и т.п.), что делает метод удобным и универсальным для различных видов ЛЭП, контактных сетей и т.п. Мы не будем подробно останавливаться на описании метода, так как он описан в наших публикациях [10-13], а перейдем непосредственно к испытаниям.

**Натурные испытания**

С целью подтверждения разработанного метода были проведены испытания на реальной ЛЭП.

Испытания проводились на ЛЭП «Магистральная» (рис.1.) Длина исследуемого пролета составляет 378,52 м, фазный провод АС-240/56, разница высот точек подвеса провода по сравнению с длиной пролета не существенна.

В эксперименте исследовались 6 фазных проводов в одном пролете. Задача эксперимента заключалась в определении стрелы провеса провода ЛЭП двумя различными методами: 1 - используя данные о периоде собственных колебаний, полученные из видеозаписей провода; 2 - методом фотограмметрии.

По первому методу проводилась запись траектории фазных проводов (определения положения провода в пространстве) в непосредственной близости, далее с помощью разработанного программного обеспечения (ПО) [14-15] рассчитывается расчет периода колебаний, и по формуле (1) вычисляется стрела провеса проводов.

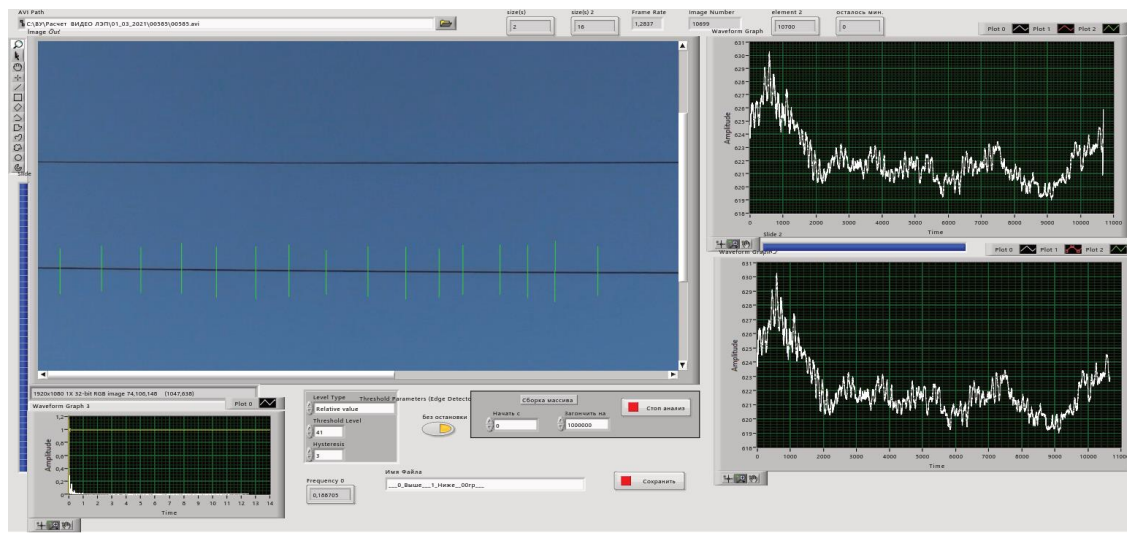


Рис. 1. Лицевая панель программы «Программа обработки видеозаписей провода ЛЭП с целью определения его частоты собственных колебаний»

Инструментальная погрешность метода определения стрелы провеса провода по периоду собственных колебаний, используя данные, полученные из видеозаписей провода, рассчитывается по формуле:

$$\Delta f = \frac{f(T)}{dT} \Delta T \quad (2)$$

Максимальная погрешность определения стрелы провеса равна 0,75%.

С целью верификации стрела провеса провода измерялась с помощью второго метода – метода фотограмметрии. Одновременно с записью видео делаются фотографии тех же шести проводов в пролете, что и снимает видеокамера, но с другого ракурса, с которого виден весь пролет с опорами (рис.2).

Определение стрелы провеса по фотографии проводилось с помощью специализированного ПО «ImageJ». Приложение позволяет выполнять комплексный анализ изображений. С помощью этой программы расстояния из пикселей переводились в метры. Калибровка осуществлялась по заранее измеренному расстоянию между точками подвеса провода в пролете и известным габаритам опоры, что изображены на фотографии.

Максимальная относительная погрешность метода фотограмметрии равна 1 пикселю - 0,02%.

Испытания проводились с 5 марта по 14 апреля 2021 года. За этот период температура окружающей среды варьировалась от -9оС до +7оС. Данный разброс по температуре дал возможность наблюдать изменение стрелы провеса, так как она уменьшается с понижением температуры и наоборот, увеличивается с повышением. Результаты проведенных испытаний представим на графике (рис.3).



Рис. 2. Фотография пролета с опорами, дата 05.03.2021.

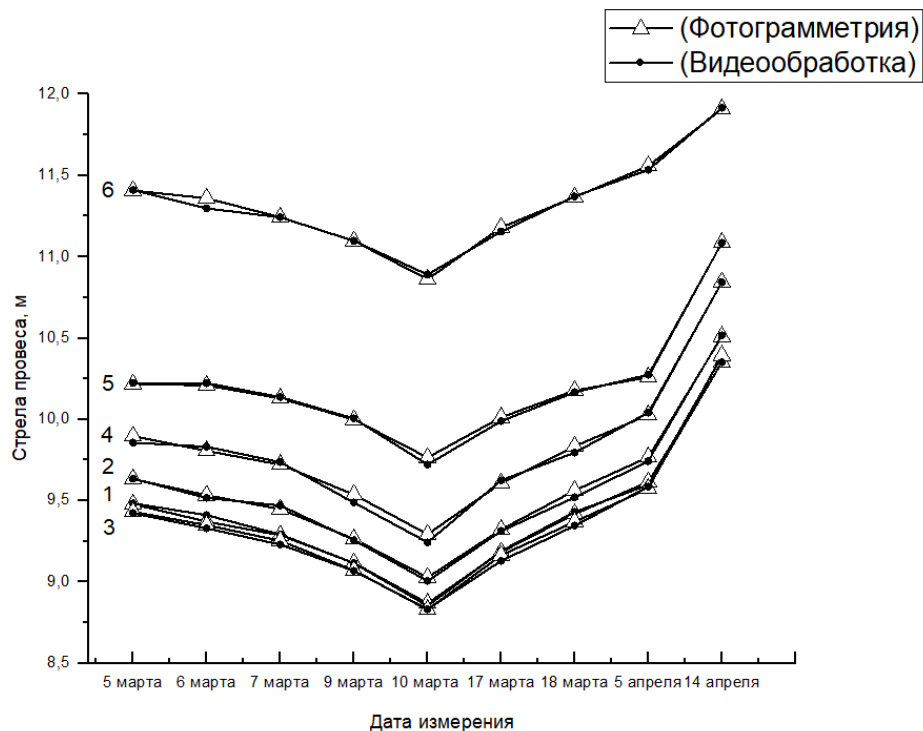


Рис. 3. Сравнение результатов вычисления стрелы провеса двумя разными способами. Цифрами 1-6 обозначены номера проводов.

### Результаты и выводы

На рис.3. представлены результаты измерения стрелы провеса шести фазных проводов двумя методами: используя данные о периоде собственных колебаний, полученные из видеозаписей провода; методом фотограмметрии, на основе фотографий с реперными изображениями. Даты измерений стрелы провеса были подобраны таким образом, чтобы температура окружающей среды отличалась, так как стрела провеса напрямую зависит от температуры. На графике видно, что с 5 марта по 10 марта стрела провеса проводов уменьшалась, так как уменьшалась температура окружающей среды. 14 апреля была высокая температура +7 0С, в связи с чем стрела провеса увеличилась.

Результаты двух методов измерения стрелы провеса провода – по периоду собственных колебаний и методом фотограмметрии, совпадают с хорошей точностью, в пределах погрешности измерений, не превышающей 0,53%. Это подтверждает достоверность разработанного метода определения стрелы провеса провода по периоду собственных колебаний провода с учетом разницы высот точек подвеса.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме "Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередач и промышленного интернета вещей" (номер темы 075-00063-20-02).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Правила устройства электроустановок (7-ое издание). Утверждены приказом Минэнерго РФ от 20 июня 2003, № 242.
2. РД 34.20.504-94. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35-800 кВ. Утверждено Департаментом электрических сетей РАО «ЕЭС России» 19.09.94 г. Срок действия установлен с 01.01.96.
3. ГОСТ Р 58087-2018 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электрические сети. Паспорт воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше.
4. Кабашов В. Ю. Повышение надежности сельских воздушных линий электропередачи 10 (6) кВ в условиях воздействия ветровых и гололедных нагрузок : дис. – Московский государственный агроинженерный университет, 2011.
5. Дементьев С.С. Интеллектуальная система мониторинга гололедообразования на воздушных линиях электропередачи [Текст]: дис...канд. техн. наук. – Волгоград, 2019. - С.142.
6. Эксплуатация воздушных линий электропередачи [Текст] / В. Н. Андриевский, А. Т. Голованов, А. С. Зеличенко. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1976. - 615 с.
7. Засыпкин А. С. и др. Применение датчиков гололедной нагрузки и датчиков продольного тяжения проводов вл для оценки опасности гололедной обстановки // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2018. - №2. С.48-53.
8. 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 – 494 с.
9. Пантелеев В.И., Малеев А.В. Определение стрелы провеса проводов воздушных линий электропередачи в устройстве мониторинга гололедообразования по результатам физического моделирования // Южно-Сибирский научный вестник. 2021. № 2 (36). С. 139-143.
10. Ярославский Д.А., Нгуен В.В., Садыков М.Ф., Горячев М.П., Наумов А.А. Модель собственных гармонических колебаний провода для задач мониторинга состояния воздушных линий электропередачи // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – №. 3. С. 97-106.
11. Нгуен Ван Ву, Садыков М.Ф. Методика определения механических нагрузок на воздушной линии электропередачи на основе модели физического маятника // Сборник трудов XV Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике» (21–22 октября 2020 г.) г. Казань: ФГБОУ ВО КГЭУ, 2020. С. 357-360.
12. D.A. Yaroslavsky, V.V. Nguyen, M.F. Sadykov, M.P. Goryachev, D.A. Ivanov, T.G. N.K. Andreev. Determination the conductor sag according to the period of own harmonic oscillations. E3S Web Conf., 220 (2020) 01036.