

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРОВОДА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЛИЧИЯ ГОЛОЛЕДНО- ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОВОДА В ПРОЛЕТЕ

Головков-Енин А. Е.¹, Коренчук А. С.²

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Добросельский М. А.¹

¹ Университет ИТМО

² АО «НПП «Радар ммс»

golovkov-enin@yandex.ru

Введение

Основой функционирования и успешного развития человеческой цивилизации является энергетика. По информации из годовых отчетов сетевых операторов, в 2025 году протяженность линий электропередач Российской Федерации (РФ) достигла около 2,95 млн км, из которых более 2,11 млн км составляют воздушные линии электропередач (ВЛЭП). Главная причина возникновения аварий на ВЛЭП является образование гололеда. Данное явление наиболее часто возникает при дожде, тумане, легкой мороси, когда температура воздуха находится в пределах от -5 до 0°C [1]. Приказы Министерства энергетики РФ в области мониторинга и детектирования гололеда дополнительно свидетельствуют об актуальности проблемы.

На сегодняшний день в мировой практике доступны различные методы для мониторинга состояния ВЛЭП. Например, при визуальном осмотре на поиски мест возникновения неисправности может уходить большое количество времени и ресурсов. Применение методов фотограмметрии или лазерного сканирования с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) более эффективно, но зависит от погодных условий. Чтобы обработать собранные геопривязанные изображения требуется наличие специализированного программного обеспечения и много времени. При применении стационарных систем можно выделить два наиболее эффективных метода. Первый основан на взвешивании гололеда и является более точным в сравнении с другими методами, но в то же время требует больших денежных затрат. Второй метод называется инклинометрическим. Этот метод основан на использовании датчиков, устанавливаемых на провод ВЛЭП, которые измеряют угол наклона провода в точке установки датчика и другие параметры и передают их в систему мониторинга по беспроводным каналам связи. Этот метод является не столь дорогостоящим и позволяет детектировать наличие гололедно-изморозевых отложений (ГИО) на проводах с небольшими временными задержками [2].

Основная часть

В данной статье представлен разработанный авторами алгоритм построения цифрового двойника для оценки наличия ГИО на проводах ВЛЭП на основе инклинометрического метода. Входными данными для работы алгоритма являются параметры исходного режима провода в пролете, характеристики пролета и провода, измеренные с помощью датчика параметры провода – температура и угол наклона в точке установки датчика.

Для проверки работы алгоритма было решено использовать данные с датчика «Сенсор-ВЛ» производства компании АО «НПП «Радар ммс». Это единственный отечественный серийно производимый датчик, который измеряет все необходимые для работы алгоритма параметры провода ВЛЭП, а также обладает возможностью автономной работы, получая необходимую энергию от тока, протекающего в проводе.

Выбранный датчик был установлен в Ленинградской области, поселок Радофинниково на ВЛЭП с напряжением 35 кВ, провод марки АС 70/11. Данные мониторинга накапливались и собирались в период с 2022 по 2025 г.г.

Программный код алгоритма построения цифрового двойника провода в пролете ВЛЭП разработан в среде MATLAB. Исходный режим определялся с учетом Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [3] и методов, описанных в [4].

Алгоритм основан на решении уравнения состояния провода, которое связывает механическое напряжение, удельную нагрузку и температуру между двумя любыми состояниями провода в пролете ВЛЭП, и уравнения цепной линии, описывающего провисание провода в пролете.

Выходными данными алгоритма являются ожидаемый угол наклона провода, фактически измеренный датчиком угол наклона и результат оценки наличия ГИО на проводе, основанный на сравнении ожидаемого и фактического значения угла наклона. Ожидаемый угол наклона рассчитывается по модели цифрового двойника провода в предположении, что на нем отсутствуют ГИО.

После запуска программы пользователю необходимо ввести параметры исходного режима провода в пролете, характеристики провода и пролета и измеренную датчиком температуру, и угол наклона провода, после чего программа проводит расчет ожидаемого угла наклона по модели цифрового двойника провода в пролете и сравнивает его с измеренным. Если угол, измеренный датчиком меньше или равен ожидаемому, то это свидетельствует об отсутствии ГИО, в противном случае программа информирует о наличии отложений на проводе.

Выводы

В результате проведенной работы был разработан алгоритм построения цифрового двойника для оценки наличия ГИО на проводах ВЛЭП с применением инклинометрического метода контроля состояния провода и проведена проверка работы алгоритма на данных мониторинга с ВЛЭП напряжением 35 кВ, расположенной в поселке Радофинниково Ленинградской области.

Литература

1. Ярославский Д.А., Садыков М.Ф. «Разработка устройства для системы мониторинга и количественного контроля гололедообразования на воздушных линиях электропередачи». Известия высших учебных заведений. «Проблемы энергетики», 2017 г., том 19, № 3-4. С. 70.
2. М. Ф. Садыков, Д. А. Ярославский, М. П. Горячев, Ван Ву Нгуен, Н. К. Андреев, Д. А. Иванов «Анализ современных методов оценки состояния воздушных линий электропередачи по механическим параметрам проводов (обзор)». Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия, Известия РАН, серия физическая, 2021 г., том 85 № 11. С. 1601.
3. Правила устройства электроустановок ПУЭ. Издание седьмое. Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002. №204. 330 с.
4. Кесельман Л.М. «Основы механики воздушных линий электропередачи». М.: Энергоатомиздат, 1992 г. 352 с.