

**СБОР ДАННЫХ И ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**аспирант А. В. РЫСИН, канд. техн. наук, доц. С. В. СОЛЁНЫЙ
(Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, Россия)**

Передача электроэнергии на большие расстояния осуществляется преимущественно при помощи воздушных линий электропередач. Опоры, провода и прочие элементы испытывают не только электрические нагрузки, но и механические. Учет всех видов воздействий на линии электропередачи позволяют точно определять техническое состояние электрооборудования и остаточный ресурс. Сбор информации может осуществляться множеством методов, в результате которых анализируется база данных, состоящая из силы тока, протекающего по проводнику, напряжению и частоте сети, величине провиса провода, его температуры, амплитуды колебаний под воздействием ветровых нагрузок, воздействие излучений разных спектров, длительности и величины перегрузок на линиях и другие параметры. Все эти данные используются в эмпирических и вероятностных моделях, результаты решения которых позволяют определить техническое состояние электрооборудования и прогнозировать поведение электротехнической системы.

Ключевые слова: *линии электропередач, электроэнергетическая система, электроснабжение, техническое состояние электрооборудования*

Системы распределения электроэнергии становятся все более сложными из-за внедрения возобновляемых источников энергии, что постепенно приводит к увеличению рисков для работы сети электроснабжения. Усиление мониторинга и контроля систем распределения электроэнергии приобретает все большую необходимость.

Оценка состояния энергосистемы является одной из ключевых задач системы управления энергией в сети электроснабжения для оперативной работы и управления. Однако ситуация в системах распределения электроэнергии довольно сильно отличается от систем передачи. Есть две основные причины, по которым в системах распределения электроэнергии до сих пор не получили широкого распространения технологии оценки состояния. Одна из них заключается в том, что системы распределения обладают относительно ограниченной наблюдаемостью по сравнению с системами передачи. Другая причина заключается

в том, что достоверность параметров распределительной сети может быть недостаточной, учитывая, что точность параметров, как правило, намного ниже, чем у систем передачи. Таким образом, практическая реализация оценки состояния уровня распределения является большой проблемой для распределительных систем [1].

Для решения проблем оценки технического состояния электрооборудования предлагается создавать цифрового двойника воздушных линий электропередачи, а данные для моделирования брать непосредственно с объекта исследования.

Для синтеза математической модели необходима следующая информация: действительная температура токоведущих частей, климатические параметры окружающей среды, величина провеса, сила тока, напряжения, мощность и частота электроэнергии, протекающей через линии электропередач.

Замер тока, протекающего в проводнике, можно осуществлять контактным или бесконтактным способом. При контактном способе необходимо вставлять датчик в разрыв токоведущего проводника, что не подходит для нашей системы. Величина силы тока в ЛЭП может достигать 250 А, такие значения замеряют либо трансформаторами тока, либо токоизмерительными клещами. Трансформатор тока достаточно тяжелый и дорогой прибор, направленный на учет электроэнергии. Токоизмерительные клещи гораздо более просты в использовании и снятии показаний. Токоизмерительные клещи представляют собой магнитопровод, который для удобства монтажа и измерений способен размыкаться и под воздействием пружины обратно смыкаться и платы измерения. Так как на борту токоизмерительных клещей PM2018S уже установлен аналого-цифровой преобразователь – мы можем посылать информацию напрямую на контроллер. Дополнительно есть возможность осуществлять оперативное питание датчиков и систем при помощи снятия наведенной энергии поля на магнитопровод.

Для определения дополнительных нагрузок на кабель на опоры устанавливаются тензодатчики, показывающие информацию о натяжении, кабеля между опор. Уменьшение натяжения может свидетельствовать об ослаблении креплений, а увеличение – о дополнительной нагрузке на крепления и кабель [2].

Для определения величины провиса необходимо устанавливать 2 датчика: один на опоре, как эталонное значение и один на середине провода – в самой глубокой точке провиса. В качестве таких датчиков можно использовать лазерные, ультразвуковые датчики или плату с акселерометром и гироскопом. Так как высота опор достигает 40 метров – лазерные датчики не подходят, так как их диапазоны измерений лежат в пределах 10 метров, так же, как и ультразвуковые. Остается последний вариант – использование платы с акселерометром и гироскопом GY-521. Датчик позволит обойтись без установки эталонного датчика на опоре. При установке всей киберфизической системы на кабель – замеряется величина провиса и вбивается в программный код. При изменении провиса из-за

растяжения провода или сильных колебаниях от ветра – датчик позволяет замечать изменение координаты датчика по трем осям. Изменение по оси Y свидетельствует о ветровых нагрузках, ось Z показывает величину провиса.

Датчик температуры и влажности стоит подбирать исходя из данных о годовых температурах региона. Если же таких данных не имеется – стоит выбирать датчик DHT22 с большим диапазоном измерений температуры и влажности. Недостатком этого датчика перед DHT11 является меньшая частота измерений параметров (раз в 2 секунды), однако это допустимая частота, так как погодные условия меняются в течении нескольких минут.

Для определения точных данных о действительной температуре токоведущих частей рекомендуется применять бесконтактные инфракрасные датчики. Показания датчиков не зависят от пятна контакта, из-за отсутствия такового, не зависят от степени чистоты покрытия измеряемого тела и не зависят от наличия блеска металла. Для этих задач подходит датчик MOD-IR-TEMP.

Вся система собирается в герметичный корпус и крепится в середине провода на каждой фазе и нулевом проводнике. 3D модель устройства сбора информации представлена на рисунке 1.

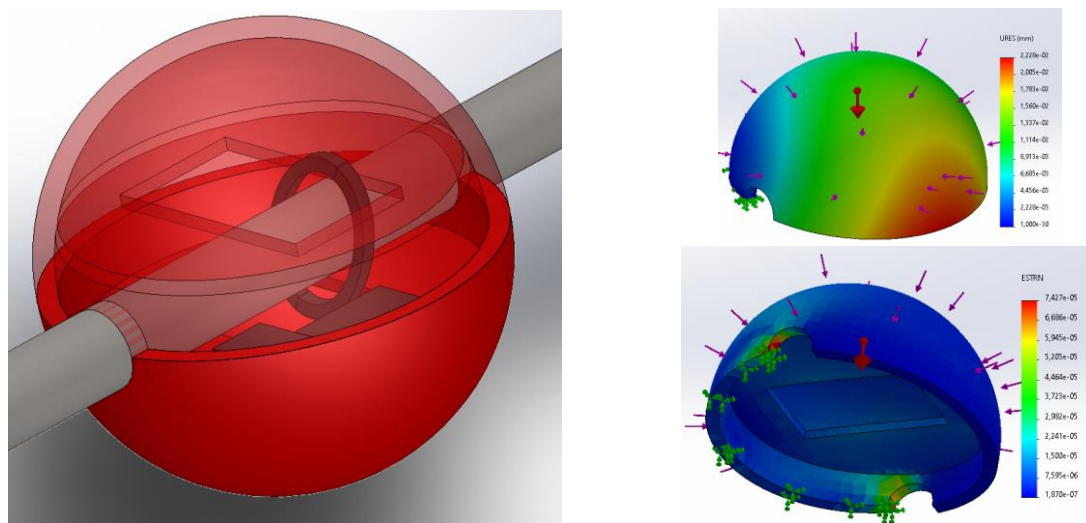


Рисунок 1. – 3D модель сбора характеристик и параметров ВЛЭП и электроэнергии

В зависимости от регионов, погодных условий, условий эксплуатации, остаточного ресурса, и прочих факторов выводятся вероятностные зависимости и эмпирические функции.

Например, уже выведены законы зависимости величины провиса от массы посторонних тел, действующих на провод (например обледенение) и зависимость температуры и действующей силы тока на линейное расширение токоведущих частей. Повышенная частота перегревов приведет к снижению прочности и сокращению срока службы провода [3, 4].

Датчики гироскопа и акселерометра устанавливаются на дно капсулы корпуса и фиксируются прижимными болтами. Токоизмерительные клещи разжимаются, зацепляются за токоведущую часть и отпускаются. После окончательной установки остальных датчиков корпус скручивается и фиксируется на кабеле неподвижно. После чего аккумуляторы устанавливаются в нижний отсек капсулы и подключаются по разъему ХТ60.

Первый запуск системы предусматривает ввод начальных значений, а именно величины провеса кабеля, температура окружающего воздуха и номер станции.

После запуска контроллера выполняется подключение к серверу, опознавание киберфизической системы и начало работы. Каждую минуту отправляются данные о метеорологических погодных условиях и давления на тензодатчиках. Каждые 10 секунд отправляются данные о температуре проводника и силе тока в нем.

Общей задачей исследования развития энергосистем и электрических сетей являются разработка, с учетом новейших достижений науки и техники и технико-экономическое обоснование решений, определяющих формирование энергосистем и объединений, развитие электрических станций, электрических сетей, средств их эксплуатации и управления. В результате работы была разработана система, позволяющая проводить оценку технического состояния воздушных линий электропередач в автономном режиме.

Введение подобной системы в эксплуатацию позволит своевременно осуществлять замену и ремонт оборудования, что снизит потери при аварийном отключении потребителей. Также система имеет возможность масштабирования и может стать частью систем Smart Grid [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Rysin, A. V. Modeling of transient processes in power systems / A. V. Rysin, V. P. Kuzmenko, O. Ya. Solenaya // Mathematical methods and models in high-tech production: Abstracts of the I International Forum, St. Petersburg , November 10–11, 2021. – St. Petersburg: St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 2021. – P. 259–260. – EDN NNYPBP.
2. Characteristics and parameters of the technical condition of overhead power lines / O. Ya. Solenaya, A. V. Rysin, S. V. Soleny [et al.] // News of higher educational institutions. Instrumentation. – 2021. – Т. 64. – No. 7. – S. 583-588. – DOI 10.17586/0021-3454-2021-64-7-583-588. – EDN VFHKVT.
3. Rysin, A. V. Computational model of the cyber-physical energy system / A. V. Rysin, V. P. Kuzmenko // Science and business: ways of development. – 2021. – No. 12(126). – S. 14–16. – EDN NPJPYM.
4. Robot for inspection and maintenance of overhead power lines / S. Solyonyj, O. Solenaya, A. Rysin [et al.] // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2021. – Vol. 187. – P. 487-497. – DOI 10.1007/978-981-15-5580-0_40. – EDN IPYWTD.
5. Modeling of the operation modes of the electric power system to improve its sustainability of functioning / V. F. Shishlakov, O. Ya. Solenaya, S. V. Solyonyj [et al.] // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies, Krasnoyarsk, 04 марта 2020 года / Krasnoyarsk

Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 52083. – DOI 10.1088/1742-6596/1515/5/052083. – EDN DDCGMD.