

## Внедрение системы автоматизированного мониторинга гололедообразования в распределительных сетях ПАО «Татнефть»

Implementation of automated system for monitoring of ice coating of power distribution networks in Tatneft PJSC

M.F. Sadykov<sup>1</sup>, D.A. Yaroslavsky<sup>1</sup>, D.A. Ivanov<sup>1</sup>, M.P. Goryachev<sup>1</sup>, O.G. Savelyev<sup>2</sup>, Yu.S. Chugunov<sup>2</sup>, Yu.V. Toropchin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kazan State Energy University, RF, Kazan

<sup>2</sup>Tatneft PJSC, RF, Almet'yevsk

E-mail: sadykov@kgeu.ru, chugunov@tatneft.ru

**Keywords:** power distribution networks, glaze-ice and rime deposition, monitoring, diagnostics, reliability

The problem of timely detection of ice deposition on overhead power transmission lines is of current concern. To handle this problem an automated transmission line icing monitoring system has been developed to enable remote, real-time detection of ice deposition on power transmission lines at early stages and allow for ice buildup control. Control device is attached to power line at a given distance from suspension point, which allows determination of cable tension force for various overhead spans with minimum adjustments in determination algorithms. Power supply of control devices is provided through magnetic component of electromagnetic field. Acquired data are collected at data collection center, then transmitted to cloud-based server and further to computer for processing in a specialized software. If the readings exceed the acceptable values, the operator will receive a priority-response alarm specifying the lines exhibiting maximum tension due to ice deposition. The icing monitoring system has been designed within the scope of research and development project aimed at the development of a comprehensive icing control system for 110-, 35-, and 6(10)-kV high-voltage lines. Currently underway is pilot testing of the system in Oil and Gas Production Department Leninogorskneft on F115-05 6-kV overhead line of PS-115 substation and 35-kV overhead line No.115-301. The results suggest acceptable performance of the system. The system of monitoring and quantitative control of ice deposition on power transmission lines based on wireless control devices has additional functional capabilities such as real-time detection of breakpoint location and short-circuit failure of high-voltage lines within each overhead span through measurements of electric current intensity in the line hosting this device.

Система автоматизированного мониторинга гололедообразования (СМГ) на воздушных линиях (ВЛ) состоит из набора аппаратно-метрологических средств (устройств контроля) и специализированного программного обеспечения (ПО). Объектом исследования являлись ВЛ 6 и 35 кВ в Лениногорском районе Республики Татарстан. ВЛ 6 кВ выполнена из провода марки А-70 (28.04.17 г. заменен на провод марки АС-70/11) с промежуточными опорами марки ПП10-6 и анкерными опорами марки ПА10-3. Длины пролетов варьируются от 25,9 до 53,6 м. ВЛ 35 кВ выполнена из провода марки АС-120/19 с промежуточными опорами марки ПБ-35 и анкерными опорами марок ПЗ5-1Т-ТС и УЗ5-1Т-ТС. Длины пролетов изменяются от 126,5 до 191,8 м.

Устройства контроля [1] установлены на проводе максимально близко к точке его подвеса к анкерной опоре, так как в этом месте угол вращения провода наибольший. Установка устройств в каждом пролете между анкерными опорами позволяет учитывать перетяжку провода между соседними пролетами. Место установки устройства контроля на ВЛ 35 кВ показано на рис. 1. Данные

М.Ф. Садыков<sup>1</sup>,  
 Д.А. Ярославский<sup>1</sup>,  
 Д.А. Иванов<sup>1</sup>,  
 М.П. Горячев<sup>1</sup>,  
 О.Г. Савельев<sup>2</sup>,  
 Ю.С. Чугунов<sup>2</sup>,  
 Ю.В. Торопчин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский гос. энергетический университет

<sup>2</sup>ПАО «Татнефть»

Адреса для связи: sadykov@kgeu.ru,  
 chugunov@tatneft.ru

**Ключевые слова:** распределительные сети, гололедно-изморозевые отложения, мониторинг, диагностика, надежность

DOI: 10.24887/0028-2448-2020-7-53-55

Работы по созданию устройства контроля и системы мониторинга и количественного контроля гололедообразования на ВЛ электропередачи проводятся в рамках договора на выполнение научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы с ПАО «Татнефть».

с устройств контроля поступают на пункт их сбора, затем передаются на облачный сервер, а затем – на ЭВМ, где обрабатываются по методике [2] в специализированном ПО. Обработанные данные доступны для диспетчеризации и наблюдения с помощью веб-интерфейса. На ВЛ 6 и 35 кВ установлены устройства контроля гололедообразования [1], которые в режиме реального времени передают информацию об угле провеса, температуре провода и относительной влажности воздуха. Их питание осуществляется путем отбора мощности с магнитной составляющей электромагнитного поля провода.

Данная система обладает следующими особенностями:

- связь между устройствами осуществляется по беспроводному каналу связи в соответствии со стандартом IEEE 802.15.4, что позволило создать достаточно надежную систему мониторинга;
- не используется GSM-канал, что дало возможность разработать систему с низким энергопотреблением; в результате системе автоматизированного мониторинга силы тяжения провода ВЛ по параметрам кручения и провеса достаточно питания от провода ВЛ электропередачи;

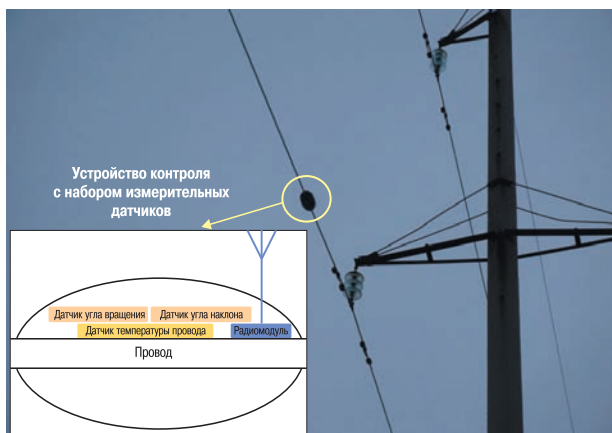


Рис. 1. Устройство контроля, установленное на ВЛ 35 кВ

– применен модуль питания устройства контроля механических параметров ВЛ, обеспечивающий снабжение его электроэнергией от магнитной составляющей электромагнитного поля провода ВЛ;

– используется математическая модель, позволяющая отслеживать изменение гололедных нагрузок на ВЛ.

На рис. 2 показана блок-схема разработанного устройства контроля механических параметров ВЛ [3]. В его состав входит следующий набор датчиков:

– STS21, датчик температуры (диапазон измерения от  $-40$  до  $+125$  °С, погрешность  $\pm 0,2$  %);

– HCPD-3V-S2, датчик относительной влажности и температуры I2C (погрешность 2 %);

– ADXL213AE, двухосевой акселерометр (погрешность 0,01 %);

– ADXL355, трехосевой акселерометр (погрешность 0,01 %).

Устройство контроля работает следующим образом. С помощью модуля навигации (ГЛОНАСС/GPS) (см. рис. 2) определяются местоположение пролета ВЛ и его геокоординаты. Для оперативного определения места возникновения опасных механических нагрузок на ВЛ на одном из фазных проводов закрепляют устройство оперативного контроля технического состояния. Для измерения температуры и определения начала налипания снега или гололедообразования на проводах применяются датчики температуры и влажности (см. рис. 2). Информация о начале гололедообразования

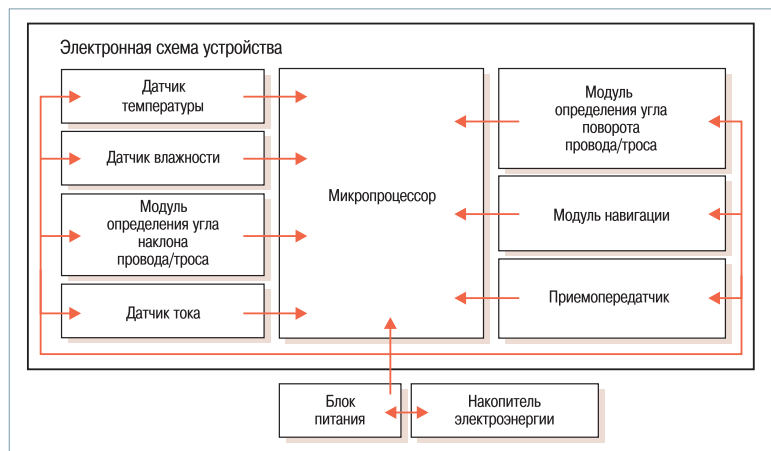


Рис. 2. Блок-схема устройства контроля механических параметров ВЛ

на проводах обрабатывается управляющим микропроцессором и передается на диспетчерский пульт.

Элементы разработанного ПО [4] устанавливаются на устройствах контроля, пунктах сбора и обработки данных (эти пункты могут быть совмещены). ПО СМГ обеспечивает сбор, хранение и обработку данных, а также визуализацию текущего состояния обследуемой ВЛ с возможностью просмотра статистических данных за весь период эксплуатации системы автоматизированного мониторинга силы тяжения провода ВЛ по параметрам кручения и провеса.

ПО, устанавливаемое на устройствах контроля, позволяет создавать самоорганизующуюся сеть на основе протокола организации канала связи для беспроводных сенсорных сетей IEEE 802.15.4, что обеспечивает достаточную надежность, небольшую потребляемую мощность и возможность построения сенсорной сети из  $2^{64}$  узлов. Данные последовательно передаются от одного устройства контроля к другому, а затем в форме пакета данных принимаются пунктом их сбора с помощью радиоприемника.

В пункте сбора данных осуществляются их первоначальная обработка (сортировка информации в соответствии с адресами устройств контроля и параметрами, контролируемыми СМГ), а также их сохранение на виртуальном сервере. Это позволяет использовать все преимущества облачных технологий хранения данных. Далее выполняется окончательная обработка данных с последующей визуализацией итогов обследования параметров ВЛ в ПО окончательной обработки и визуализации данных [4]. В этом ПО формируется входной массив данных, поступающих от СМГ. В массив входят данные о положении устройства контроля (углы его вращения и наклона), температуре окружающей среды и провода, относительной влажности воздуха, глобальных геокоординатах и времени измерения параметров.

Массив данных загружается в математическую модель. Входными данными для математической модели являются константы, вносимые в математическую модель в зависимости от марки используемого провода (модули температурного удлинения и упругости провода, площади поперечного сечения его конструктивных элементов из разных материалов); длина нерастянутого провода; температура, углы кручения и наклона провода при наличии и отсутствии гололедно-изморозевых отложений. Выходные данные – текущая сила тяжения провода. На панели визуализации происходят как прямое отображение данных о контролируемых параметрах обследуемой ВЛ, так и анализ текущих механических нагрузок на ВЛ.

На лицевой панели располагается геокарта с обследуемой ВЛ, на которой отображаются установленные устройства контроля СМГ. С помощью ПО контролируемые пролеты ранжируются по степени опасности текущих механических нагрузок (визуально это наблюдается по цвету кругов, отражающих расположение устройств контроля в соответствии с представленной геокартой):

– нормальные механические нагрузки (до 50 % максимально допустимых) отображаются зеленым цветом;

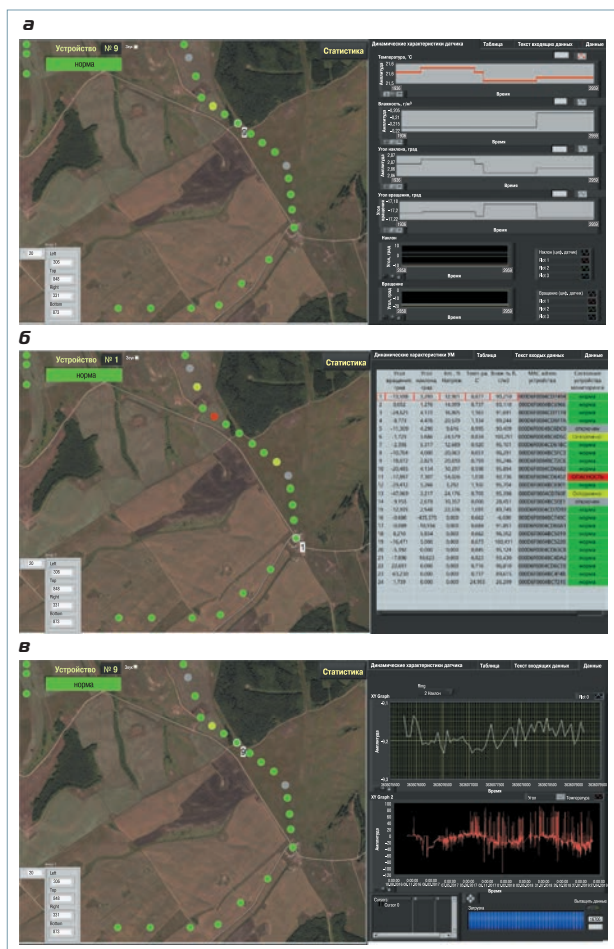


Рис. 3. Вкладки «Динамические характеристики датчиков» (а), «Таблица» (б) и «Данные» (в)

– механические нагрузки, требующие внимания (51–75 % максимально допустимых), представлены желтым цветом;

– опасные механические нагрузки (76–100 % максимально допустимых) отображаются красным цветом.

Можно включить звуковое оповещение о появлении опасных механических нагрузок, за которое отвечает подпрограмма звукового оповещения.

На лицевой панели имеется несколько вкладок: «Динамические характеристики датчика», «Таблица», «Тест входящих данных», «Данные» и «Статистика». На вкладке «Динамические характеристики датчика» (см. рис. 3, а) в режиме реального времени отображаются данные о параметрах, по которым определяются механические нагрузки на ВЛ, а также условия появления гололедно-изморозевых отложений: температура провода, относительная влажность воздуха, углы вращения и наклона провода. Данные отображаются для выделенного на гекарте устройства контроля. На гекарте также отображаются номер выбранного устройства и уровень опасности механических нагрузок в пролете. На вкладке «Таблица» (см. рис. 3, б) представлены данные, поступающие со всех устройств контроля, которые входят в СМГ. На этой вкладке приведены следующие контролируемые системой мониторинга параметры: углы вращения (кручения) и наклона, текущая сила тяжения (в процентах максимально допустимой), температура провода и относительная влажность воздуха.

Кроме того, отображаются адреса устройств контроля, входящих в СМГ. В столбце «Состояние» представлен уровень опасности текущих механических нагрузок в пролетах, где установлены устройства контроля механических параметров ВЛ.

На вкладке «данные» (см. рис. 3, в) представлены зависимости температуры от времени за весь период эксплуатации СМГ, а также график наклона провода за последние 2 ч.

## Выводы

1. Применение рассмотренного в статье комплекса методов позволило разработать систему мониторинга гололедообразования на ВЛ.

2. СМГ, построенная на основе беспроводных устройств контроля, имеет дополнительные функциональные возможности: оперативное определение места обрыва или короткого замыкания ВЛ в каждом пролете и на каждой фазе проводов благодаря измерению силы тока в проводе, на котором установлено устройство.

3. СМГ позволяет предотвращать аварии на ВЛ электропередачи, возникающие из-за превышения допустимой гололедно-ветровой нагрузки, снижать издержки на содержание ВЛ и повысить экономическую эффективность.

## Список литературы

1. Иванов Д.А., Савельев О.Г., Садыков М.Ф. Датчик системы мониторинга гололедно-ветровой нагрузки. В сб. Интеллектуальные энергосистемы // IV Международный молодежный форум, Томск, 10–14 октября 2016 г. В 3 т.: Т. 1. – Томск: Томский политехнический университет, 2016. – С. 138–140.
2. Методика мониторинга гололедных отложений на проводах ВЛ с учетом разрегулировки линейной арматуры / Д.А. Ярославский, М.Ф. Садыков, А.Б. Конов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19. – № 5–6. – С. 89–97.
3. Иванов Д.А., Савельев О.Г., Мисбахов Р.Ш. Система мониторинга и количественного контроля гололедообразования на проводах воздушных линий электропередачи. В сб. Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи // IV российская молодежная научная школа-конференция, Томск, 1–3 ноября 2016 г. В 2 т.: Т. 2. – Томск: Томский политехнический университет, 2016. – С. 334–336.
4. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2017661562 Российская Федерация. Программа отображения данных о состоянии линии электропередачи для системы мониторинга гололедообразования / Д.А. Иванов, М.Ф. Садыков, М.П. Горячев, Д.А. Ярославский, Ю.С. Чугунов, О.Г. Савельев; заявитель и правообладатель ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. – № 2017618453; заявл. 21.08.17; опубл. 16.10.17.

## References

1. Ivanov D.A., Savel'ev O.G., Sadykov M.F., *Datchik sistemy monitoringa gololedno-ventrovoy nagruzki* (Sensor of monitoring system of ice-wind load). Collected papers "Intellektualnye energosistemy" (Intelligent power systems), Proceedings of IV International Youth Forum, Tomsk, 10–14 October 2016, Tomsk: Publ. of TPU, 2016, Part 1, pp. 138–140.
2. Yaroslavskiy D.A., Sadykov M.F., Konov A.B. et al., *Methodology of monitoring ice on wires with considering misalignment of power line armature* (In Russ.), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*, 2017, V. 19, no. 5–6, pp. 89–97.
3. Ivanov D.A., Savel'ev O.G., Misbakhov R.Sh., *Sistema monitoringa i kolichestvennogo kontrolya gololedoobrazovaniya na provodakh vozdushnykh liniy elektropereдачи* (The system of monitoring and quantitative control of icing on the wires of overhead power lines). Collected papers "Energetika, elektromekhanika i energoeffektivnye tekhnologii glazami molodezhi" (Energy, electromechanics and energy-efficient technologies through the eyes of youth), Proceedings of IV Russian youth scientific school-conference, Tomsk, 1–3 November 2016, Tomsk: Publ. of TPU, Part 2, pp. 334–336.
4. Certificate of registration of a computer program no. 2017661562 RF "Programma otobrazheniya dannykh o sostoyanii linii elektropereдачи dlya sistemy monitoringa gololedoobrazovaniya" (Power line status data display program for icing monitoring system). Authors: Ivanov D.A., Sadykov M.F., Goryachev M.P., Yaroslavskiy D.A., Chugunov Yu.S., Savel'ev O.G.