

троля изоляции является самым эффективным из применяемых методов и может давать прогностические рекомендации о предстоящем повреждении обмотки статора.

Рассмотрев существующие методы можно сделать вывод о необходимости разработки новых методов диагностики повреждений асинхронных двигателей, и усовершенствования существующих методов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов В. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // Новости Электротехники. 2005. № 1 (31). С. 23–28.
2. Неисправности асинхронного электродвигателя. URL: <http://www.malahit-irk.ru> (дата обращения: 15.03.2019).
3. Frosini and E. Bassi. Stator Current and Motor Efficiency as Indicators for Different Types of Bearing Faults in Induction Motor // Transactions on Industrial Electronics. 2010. Vol. 57, no. 10. P. 201–209.
4. Хомутов С. О., Тонких Ю. А., Дронов В. С. Новые методы и технические средства диагностики электродвигателей в агропромышленном комплексе // Ползуновский вестник. 2009. № 4. С. 109–115.

УДК 621.316.3

### ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. Я. Бигун, Е. П. Жиленко, Е. В. Петрова, Л. В. Владимиров, А. Е. Обвинцев, В. Н. Мазко  
*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

**Аннотация.** В связи с постоянно растущим спросом на электроэнергию, поставщики электроэнергии сталкиваются с проблемой ограниченности пропускной способности воздушных линий электроэнергетических систем. Строительство новых линий, замена проводов на провода с большим поперечным сечением, замена действующих линий на линии с более высоким классом напряжения может решить эту проблему. Указанные направления не всегда реализуемы из-за экономических, социальных и других особенностей. Максимальный ток, передаваемый по линиям электропередачи, как правило, рассчитывается для наихудших условий эксплуатации. В реальных условиях эксплуатации допустимая токовая нагрузка линии может динамически изменяться в зависимости от условий окружающей среды. Наиболее важно знать реальную температуру проводов воздушных линий для определения максимальной пропускной способности линий электропередачи. В данной работе проведен краткий анализ различных систем и устройств мониторинга для определения параметров, влияющих на максимально допустимый ток линий.

**Ключевые слова:** температура провода, системы мониторинга, пропускная способность, погодные параметры.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-37-40

#### I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сроки эксплуатации воздушных линий электропередач (ВЛ) часто превышают нормативные и составляют от 40 лет и более, поэтому остро стоит проблема своевременного контроля за их состоянием. Кроме того, на остаточном сроке службы сказывается и воздействие внешних факторов окружающей среды в сочетании с эксплуатационными нагрузками. Большинство воздушных линий электропередачи на данный момент не оборудованы системами мониторинга, поэтому контроль за метеорологическими воздействиями ведется визуальным способом выездными бригадами служб сетевых районов, а передача полученной ориентировочной информации происходит имеющимися средствами связи [1–4]. В результате развития экономики растёт потребление электроэнергии [5–7], а активное развитие и внедрение устройств малой генерации ещё сильнее увеличивает нагрузку на распределительные сети, которые эксплуатируются длительное время. Данные факторы влияют на надёжность электроснабжения, увеличивается вероятность перегрева проводов воздушных линий электропередачи [6–8].

Проблема повышения пропускной способности решается путём строительства новых линий электропередачи, заменой проводов на провода с большими сечениями, заменой устаревшего оборудования, увеличением напряжения воздушных линий. Пропускная способность действующих линий, как правило, определяется на

основании максимально допустимой температуры с учётом наихудших условий для охлаждения провода [7–9]. На практике такие погодные условия встречаются достаточно редко. Эксплуатация электрических сетей при условиях указанных выше обуславливает снижение реальной потенциальной загрузки линий электропередачи. Учет реальной температуры линий электропередачи позволит максимально увеличить пропускную способность линий электропередачи в условиях конкретных значений климатических факторов [11, 13].

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для повышения пропускной способности необходимо внедрять в распределительные сети системы мониторинга линий электропередачи. Использование данных систем, направленных на повышение надежности передачи электроэнергии от источника до потребителя позволит эффективно эксплуатировать распределительные сети электроэнергетических систем [5–9]. Применяемые в настоящее время системы мониторинга обеспечивают измерение температуры провода, температуры окружающей среды, скорости и направления ветра, интенсивность солнечного излучения. Информация от систем мониторинга позволяет уменьшить ошибку прогнозирования нагрузки и повысить пропускную способность линий электропередачи [13]. Наиболее подробно в данной работе рассмотрены отечественные устройства определения температуры проводов воздушных линий.

## III. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Отечественные устройства контроля параметров воздушных линий электропередач на данный момент представлены стационарными системами, состоящими из датчиков, установленных в начале и в конце линии, параметры которых передаются в системы сбора данных, где происходит дальнейшая обработка полученной информации при помощи различных математических моделей для выдачи управляющих решений [7–10].

Среди устройств контроля температуры провода рассмотрены: датчик «WTS» системы «WDM-T» производства «Димрус», устройство контроля температуры провода автоматизированной информационной системы контроля гололёдной нагрузки (УКТП АИСКГН) производства «БЛАЙС», модуль системы ASTROSE производства «Совтест», модуль измерения температуры провода МИГ-ДТПК5 производства «МИГ». Сравнение данных устройств представлено в табл. 1.

Система ASTROSE предлагает всестороннюю информативную техническую платформу для измерения различных параметров и образует самоорганизующуюся сеть беспроводной передачи данных [12]. Сенсоры данной системы весьма удобны для монтажа на ЛЭП.

Особенностью системы «МИГ» является определение момента начала образования отложений гололеда, вида и массы, интенсивности нарастания гололёда, прогнозирование гололедообразования за 2–3 часа до его начала, контроль температуры провода при плавках, система также выдаёт рекомендации по выбору схемы и составлению оптимальной карты плавки [11, 13].

Система «WDM-T» предлагает дистанционный контроль температуры проводов ЛЭП, ограничителей напряжений, концевых и соединительных муфт, измерительных трансформаторов тока и напряжения [14].

Система АИСКГН «БЛАЙС» может использоваться для построения информационных систем на опорах ВЛ 10–500 кВ с возможностью отображения данных на неограниченном количестве рабочих мест. Система АИСКГН «БЛАЙС» является лидером среди подобных систем по количеству установленных пунктов и площади покрываемой территории [15–16].

ТАБЛИЦА 1  
ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДА

№	Название	Краткое описание устройства
1	«WTS» (Система «WDM-T»)	Автономный датчик контроля температуры марки «WTS» монтируется на проводах ЛЭП и входит в систему «WDM-T», которая состоит из 3-х и более датчиков «WTS» и одного блока-приёмника. Устройство «WTS» предназначено для дистанционного измерения температуры оборудования, для которого невозможно использовать проводные датчики измерения температуры с соединительными кабелями. Измеряемая температура: $-50 \div 150$ °С; Точность измерения: $\pm 1$ °С; Время между замерами: 5 мин; Диапазон рабочих температур: $-40 \div 85$ °С.

2	УКТП (Система АИСКГН «БЛАЙС»)	<p>Устройство контроля температуры провода (УКТП) предназначено для точечного контроля температуры фазного провода или грозозащитного троса воздушной линии электропередачи 10 – 500 кВ. Особенностью УКТП является возможность контролировать температуру воздуха вблизи провода (троса). УКТП может использоваться:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– в составе пункта контроля системы АИСКГН «БЛАЙС»;</li> <li>– как автономное устройство с возможностью отображения данных на неограниченном количестве диспетчерских терминалов.</li> </ul> <p>Диапазон контролируемой температуры провода: <math>-55 \div 125</math> °С; Точность измерения: <math>\pm 1.5</math> °С; Диапазон контролируемой температуры воздуха: <math>-40 \div 55</math> °С;</p>
3	Модуль системы ASTROSE	<p>Модули системы ASTROSE устанавливаются непосредственно на провода преимущественно около траверса опор в пределах одного пролёта на расстоянии 500 м друг от друга. Модуль производит измерения непосредственно на месте установки и питается за счет электромагнитного поля высоковольтного провода посредством токового трансформатора.</p> <p>Система ASTROSE открыта для интегрирования различных датчиков:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– определения замыкания на землю;</li> <li>– контроля удара молнии;</li> <li>– определения солнечной радиации;</li> <li>– мониторинга влажности и температуры среды, окружающей ВЛ.</li> </ul> <p>Система ASTROSE контролирует следующие параметры:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– температуру провода (троса);</li> <li>– угол провиса провода;</li> <li>– действующее значение тока;</li> <li>– вибрационные характеристики провода.</li> </ul> <p>Основные характеристики температурного датчика модуля системы ASTROSE:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Максимальная измеряемая температура – 100 °С.</li> <li>– Минимальная измеряемая температура – -25 °С.</li> <li>– Разрешающая способность – 0,1 °С.</li> </ul>
4	Модуль измерения температуры фазного провода МИГ-ДТПК5 (Система «МИГ»)	<p>Модуль измерения температуры фазного провода МИГ-ДТПК5 входит в систему мониторинга интенсивности гололёдообразования (система МИГ) и осуществляет контроль температуры проводника.</p> <p>В систему МИГ также входят:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– модуль измерения метеоданных, состоящий из датчика температуры и влажности воздуха, датчика скорости ветра, датчика направления ветра;</li> <li>– модуль измерения тяжения подвески, состоящий из тензометрического датчика.</li> </ul> <p>Основные характеристики МИГ-ДТПК5:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Кратковременный перегрев фазных проводов – до 170 °С.</li> <li>– Рабочая температура фазных проводов – до 120 °С.</li> <li>– Точность измерения: <math>\pm 0.5</math> °С.</li> </ul>

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение датчиков и модулей контроля температуры проводов воздушных линии в совокупности с датчиками наклона провода линии электропередачи, температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра в автоматизированных информационных системах позволяет повысить надежность и эффективность работы электрических сетей, а так же производить экономически выгодную передачу электрической энергии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ромодин А. В., Борисов М. С. Система мониторинга воздушных линий электропередачи // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 1, № 1. С. 60–63.
2. Панасенко М. В. Аналитический обзор способов и устройств мониторинга промежуточного пролета воздушной линии электропередачи // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11-4. С. 572–576.

3. Панасенко М. В. Устройство для измерения гололёдной и ветровой нагрузок на провода и тросы воздушных линий электропередачи // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 6. С. 117.
4. Бигун А. Я., Гиршин С. С., Петрова Е. В., Горюнов В. Н. Учет температуры проводов повышенной пропускной способности при выборе мероприятий по снижению потерь энергии на примере компенсации реактивной мощности // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 1-1. С. 212.
5. Вырва А. А., Горюнов В. Н., Гиршин С. С., Бубенчиков А. А., Петров А. С., Петрова Е. В., Тевс В. В. Уточнение формул для анализа температуры проводов в задачах расчета потерь электрической энергии // *Омский научный вестник*. 2010. № 1 (87). С. 120–126.
6. Петрова Е. В., Горюнов В. Н., Кириченко Н. В., Бигун А. Я., Христин Д. Е. Алгоритм расчета потерь в изолированных проводах линий электропередачи с учетом температуры токопроводящих жил // *Россия молодая: передовые технологии – в промышленность*. 2013. № 2. С. 306–308.
7. Шведов Г. В., Щепотин А. С. Анализ погрешностей расчетов нагрузочных потерь электроэнергии в проводах воздушных линий электропередачи // *Вестник МЭИ*. 2017. № 6. С. 75–85.
8. Goryunov V. N., Girshin S. S., Kuznetsov E. A., Petrova E. V., Bigun A. Y. Mathematical model of steady-state thermal regime of insulated overhead line conductors // *IEEEIC 2016 - International Conference on Environment and Electrical Engineering* 16. 2016. DOI: 10.1109/IEEEIC.2016.7555481.
9. Горюнов В. Н., Гиршин С. С., Кузнецов Е. А., Петрова Е. В. Анализ погрешностей расчета температуры и потерь мощности по базовому и приближенному уравнениям теплового баланса воздушных линий электропередач // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 1-1. С. 210.
10. Morrow D. J., Fu J., Abdelkader S. M. Experimentally validated partial least squares model for dynamic line rating // *IET Renewable Power Generation*, April 2014. Vol. 8, no. 3. P. 260–268.
11. Girshin S. S., Bigun A. Y. and Petrova E. V. Analysis of dynamic thermal rating of overhead power lines in the conditions of forced convection considering non-linearity of heat transfer processes // *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, Chelyabinsk, 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911434.
12. Гиршин С. С., Горюнов В. Н., Бигун А. Я. Расчет нестационарных температурных режимов воздушных линий электропередачи с учетом нелинейности процессов теплообмена // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 5. С. 287.
13. Nguyen Huu-Minh, Lilien Jean-Louis, Schell Peter. Dynamic line rating and ampacity forecasting as the keys to optimise power line assets with the integration of res. The European project Twenties Demonstration inside Central Western Europe // *22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution. CIRED*. 2013. P. 1–5.
14. Скрыбина А. В. Современные системы мониторинга ЛЭП и энергооборудования // *Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы всеросс. науч.-метод. конф.* 01–03 февр. 2017 г. / Оренбургский государственный университет. Оренбург, 2017. С. 525–527.
15. Сацук Е. И. Программно-технические средства мониторинга воздушных линий электропередачи и управления энергосистемой в экстремальных погодных условиях: дис. ... д-ра тех. наук. Новочеркасск, 2011. 314 с.
16. Панасенко М. В., Брыкин Д. А. Обзор используемых устройств обнаружения отложений для систем мониторинга воздушных линий электропередачи // *Воздушные линии*. 2012. № 3. С. 79–82.
17. Механошин Б. И., Шкапцов В. А. Система мониторинга состояния воздушных линий электропередачи // *ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность*. 2006. № 6. С. 33–8.
18. Сухоруков С. И. Автоматизированная система удаления льда с проводов лэп: дис. ... к-та тех. наук. Комсомольск-на-Амуре, 2016. 220 с.
19. Самарин А., Рыгалин Д., Шкляев А. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей // *Естественные и технические науки*. 2012. № 1, 2.
20. Титов Д. Е. Мониторинг гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи и в контактных сетях: дис. к-та тех. наук. Саратов, 2014. 151 с.
21. Автоматизированная система обнаружения гололёда на ВЛ ASTROSE. 21с.URL: <https://sovtest-ate.com/pdf/ASTROSE.pdf> (дата обращения 06.03.2019).
22. Система мониторинга интенсивности гололёдообразования (система МИГ). URL: <http://migsystem.ru/#project> (дата обращения 06.03.2019).
23. WDM-T – система контроля температуры проводов ЛЭП. URL: <https://dimrus.ru/wdmt.html> (дата обращения 06.03.2019).
24. Принцип построения системы мониторинга АИСКГН «БЛАЙС». URL: [http://blice.ru/sys\\_build](http://blice.ru/sys_build) (дата обращения 06.03.2019).
25. Средства диагностики и предотвращения снегонапления и гололёдообразования на воздушных линиях 6-150 кВ. СПб.: Межрегиональная распределительная сетевая компания Северо-Запада. Корпоративный презентационный день. 50 с. URL: [http://www.mrsksevzap.ru/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadername2=MDT-Type&blobheadervalue1=inline%3B+filename%3DKatalog\\_KPD\\_31\\_oktiabria\\_2017.pdf&blobheadervalue2=abinary%3B+charset%3DUTF-8&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1384345749994&ssbinary=true](http://www.mrsksevzap.ru/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadername2=MDT-Type&blobheadervalue1=inline%3B+filename%3DKatalog_KPD_31_oktiabria_2017.pdf&blobheadervalue2=abinary%3B+charset%3DUTF-8&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1384345749994&ssbinary=true) (дата обращения 06.03.2019).