

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В. А. Листюхин¹, Е. А. Печерская²

^{1, 2} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹Vladyan4iklist@yandex.ru, ²pea1@list.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассматривается вопрос обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей, которое напрямую зависит от надежного функционирования воздушных линий электропередачи. Основные аварии в электро-сетевом комплексе РФ происходят на воздушных линиях электропередачи и ведут к существенным экономическим затратам. В то же время современные методы контроля параметров воздушных линий электропередачи не позволяют оперативно выявлять недостатки эксплуатации воздушных линий электропередачи. *Материалы и методы.* При разработке информационно-измерительной системы контроля параметров воздушных линий электропередачи использованы методы теории электрических цепей, схемотехники, теоретической метрологии. *Результаты.* Авторами предложена структура информационно-измерительной системы (ИИС) контроля параметров воздушных линий электропередачи в режиме реального времени. *Выводы.* Внедрение ИИС позволит своевременно выявлять дефектные участки, повысить уровень оперативно-технологического управления электрическими сетями, а также обеспечить высокий уровень надежности оказываемых потребителям услуг по передаче электрической энергии.

Ключевые слова: электроэнергетика, контроль параметров, воздушные линии электропередачи, информационно-измерительные системы, цифровая трансформация

Для цитирования: Листюхин В. А., Печерская Е. А. Система контроля параметров воздушных линий электропередачи в режиме реального времени // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 90–95. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-8

REAL-TIME MONITORING SYSTEM FOR OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES

V.A. Listyukhin¹, E.A. Pecherskaya²

^{1,2} Penza State University, Penza, Russia

¹Vladyan4iklist@yandex.ru, ²pea1@list.ru

Abstract. *Background.* The issue of ensuring uninterrupted power supply to consumers, which directly depends on the reliable operation of overhead power transmission lines, is being considered. Major accidents in the power grid complex of the Russian Federation occur on overhead power lines and lead to significant economic costs. At the same time, modern methods of monitoring the parameters of overhead power lines do not allow to quickly identify shortcomings in the operation of overhead power lines. *Materials and*

methods. When developing an information-measuring system, methods of the theory of electrical circuits, circuitry, metrological analysis were used. *Results.* The authors proposed the development and implementation of an information-measuring system (IMS) for monitoring the parameters of overhead power lines in real time. *Conclusions.* The introduction of IMS will make it possible to timely identify defective areas, increase the level of operational and technological management of electric grids, and also ensure a high level of reliability of services for the transmission of electrical energy provided to consumers.

Keywords: electric power industry, parameter control, overhead power lines, information-measuring systems, digital transformation

For citation: Listyukhin V.A., Pecherskaya E.A. Real-time monitoring system for overhead power transmission lines. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(4):90–95. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-8

Введение

Обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей является важнейшей задачей не только компаний электросетевого комплекса РФ (ЭСК), но и органов государственной власти. Например, сегодня в Российской Федерации издан ряд нормативно-правовых актов (НПА), направленных на достижение национальных задач экономики и социальной сферы [1, 2]. В ПАО «Россети» разработана и принята к исполнению Концепция «Цифровая трансформация 2030», одной из задач которой является повышение надежности электроснабжения потребителей [3].

Бесперебойное функционирование ЭСК в большей степени зависит от надежного функционирования воздушных линий электропередачи (ВЛ), что обосновывается следующим:

- передача электроэнергии от места производства до потребителей осуществляется в основном по ВЛ;
- ВЛ являются наиболее повреждаемыми элементами ЭСК ввиду своего открытого конструктивного исполнения.

Анализ технологических нарушений (аварий) в электросетевом комплексе Российской Федерации

Согласно Захаренко С. Г. и др. [4], практически 66 % аварий в электрических сетях происходит на ВЛ. Основными повреждениями на ВЛ являются:

- обрыв провода – 31,53 %;
- повреждение изоляторов – 19,56 %;
- попадание посторонних предметов (падение деревьев, попадание животных и т.д.) – 14,36 %.

На рис. 1 представлен анализ основных причин аварий ВЛ 0,4–110 кВ ЭСК. С целью ранжирования причин по уровню значимости могут применяться методы управления качеством, например методы, приведенные в работах Голубкова П. Е. и др. [5, 6].

Аварии на ВЛ ведут к существенному росту экономических затрат, которые характеризуются следующими показателями:

- экономические затраты на восстановление поврежденных элементов;
- недоотпуск электроэнергии потребителям;
- рост индикативных показателей качества оказываемых потребителям услуг SAIDI и SAIFI.



Рис. 1. Анализ основных причин аварий ВЛ 0,4–110 кВ ЭСК

Согласно «Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации», а также работе З. Ли и др. [7, 8], сегодня техническое состояние ВЛ определяется следующими методами:

- пеший обход-осмотр линии электропередачи (ЛЭП) электротехническим персоналом с периодичностью один раз в год;
- выборочный пеший обход-осмотр участков ЛЭП инженерно-техническим персоналом с периодичностью один раз в год, а все участки, подлежащие капитальному ремонту, должны быть осмотрены полностью;
- верховые осмотры ВЛ напряжением 35 кВ и выше или их участков, имеющих срок службы 20 лет и более или проходящих в зонах интенсивного загрязнения, а также по открытой местности, должны производиться не реже одного раза в шесть лет; на остальных ВЛ 35 кВ и выше (участках) – не реже одного раза в 12 лет. На ВЛ напряжением от 0,38 до 20 кВ верховые осмотры должны производиться при необходимости.

Данные методы контроля технического состояния ВЛ мало эффективны, что подтверждает анализ числа и причин аварий в электроэнергетической системе. Также выполнение данных мероприятий, в частности верхового осмотра, требует выполнения ряда условий. Так, например, при проведении верхового осмотра для безопасного производства работ необходим вывод осматриваемой ВЛ в ремонт (снятие напряжения), в результате чего снижается надежность оперативной схемы сети. Снижение надежности оперативной схемы сети требует подготовки резервных схем электроснабжения потребителей, что в свою очередь:

- усложняет процесс оперативно-технологического управления сетями;
- увеличивает загруженность оперативного персонала;
- требует большого числа операций с коммутационными аппаратами, тем самым снижается коммутационный ресурс оборудования.

Также проведение обходов-осмотров ВЛ и их участков требует использования специальной техники.

Разработка информационно-измерительной системы контроля параметров воздушных линий электропередачи

В целях снижения высокого уровня аварийности в электросетевом комплексе, улучшения показателей качества оказываемых потребителям услуг по

передаче электроэнергии, реализации технического обслуживания и ремонта оборудования ЭЭС по фактическому техническому состоянию, а также в целях повышения уровня оперативно-технологического управления электрическими сетями авторами предлагается разработать информационно-измерительную систему контроля параметров воздушных линий электропередачи (ИИС). К ИИС предъявляются следующие требования:

- устойчивость к внешним природным условиям [9];
- бесконтактный способ питания («паразитное» питание от электромагнитного поля провода);
- интеграция индикатора короткого замыкания (ИКЗ) в состав разрабатываемого устройства;
- оповещение при неисправностях (самодиагностика);
- автоматическая калибровка измерительных каналов в процессе функционирования.

На рис. 2 представлена структурная схема ИИС.

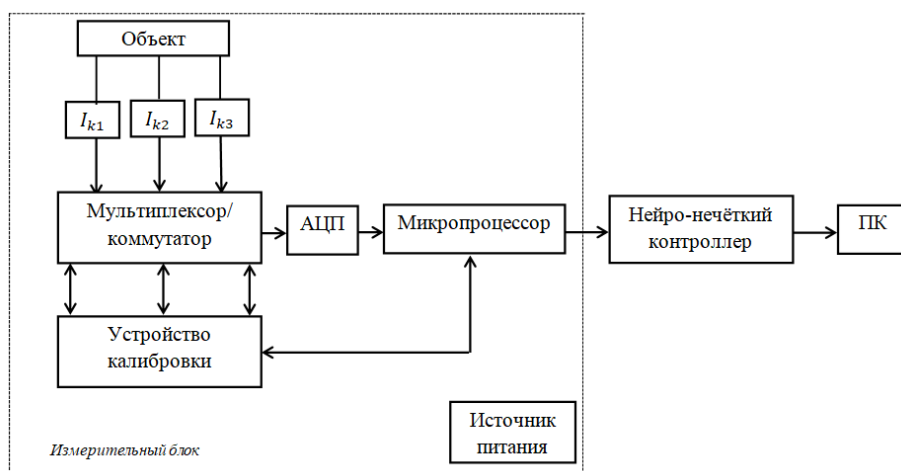


Рис. 2. Структурная схема ИИС

ИИС реализуется путем установки первичных измерительных преобразователей на провод ВЛ в месте наибольшего провеса (середина пролета между опорами). По каналу связи, организованному через встроенный GSM-модуль, полученная с измерительных каналов (ИК) информация передается на сервер диспетчерского центра, где обрабатывается с помощью искусственной нейронной сети (система поддержки принятия решений). Результаты в виде сигнальных сообщений выводятся на экран автоматизированного рабочего места диспетчерского персонала. На основе результатов измерений системой поддержки принятия решений производится анализ данных и на ПК персонала выводятся следующие сообщения, характеризующие состояние контролируемого объекта:

1. Нормальный режим (горизонтальное положение провода и положение провода с учетом отклонения от горизонтального положения при воздействии некритичных ветровых нагрузок).
2. Начальный этап разрегулировки провода (некритический провес провода относительно нормального положения).

3. Предаварийный режим (критический провес провода, обусловленный возможным схлестом с другими проводами и землей).

4. Аварийный режим (схлест провода с другими проводами или соприкосновение провода с землей).

Заключение

На основании результатов анализа основных причин технологических нарушений (аварий) в ЭСК авторами предложена структура и описано функциональное назначение информационно-измерительной системы контроля параметров воздушных линий электропередачи в режиме реального времени. Данная система позволит своевременно выявлять дефектные участки посредством детектирования этапа начального образования дефекта; повысить уровень технологического управления распределительными электрическими сетями; производить ремонт и техническое обслуживание ВЛ по техническому состоянию. Также внедрение ИИС позволит повысить качество оказываемых потребителям услуг по передаче электрической энергии.

Список литературы

1. О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы : указ Президента Российской Федерации № 203 от 09.05.2017. 2017. 29 с.
2. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года : указ Президента Российской Федерации № 204 от 07.05.2018. 2018. 19 с.
3. ПАО «Россети» Концепция «Цифровая трансформация 2030». М., 2018. 31 с.
4. Захаренко С. Г., Малахова Т. Ф., Захаров С. А. [и др.]. Анализ аварийности в электросетевом комплексе // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 4. С. 95–98.
5. Artamonov D. V., Golubkov P. E., Pecherskaya E. A. [et al.]. Methods of applying the reliability theory for the analysis of micro-arc oxidation process // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1124(8). P. 081014.
6. Голубков П. Е., Печерская Е. А., Мартынов А. В. Применение инструментов контроля качества для анализа процесса микродугового оксидирования // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : тезисы докладов третьей Всерос. молод. науч. конф. Тамбов, 2018. С. 111–113.
7. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утв приказом Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. № 229. 169 с.
8. Li Z., Tang W., Lian X. [et al.]. A resilience-oriented two-stage recovery method for power distribution system considering transportation network // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2022. Vol. 135. P. 107497.
9. Alberdi R., Fernandez E., Albizu I. [et al.]. Overhead line ampacity forecasting and a methodology for assessing risk and line capacity utilization // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2021. Vol. 133. P. 107305.

References

1. *O Strategii razvitiya informatsionnogo obshchestva v Rossiyskoy Federatsii na 2017–2030 gody: ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii № 203 ot 09.05.2017 = On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017–2030 : Decree of the President of the Russian Federation No. 203 of 09.05.2017. 2017:29. (In Russ.)*

2. *O natsional'nykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2024 goda: ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii № 204 ot 07.05.2018 = On national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024: Decree of the President of the Russian Federation No. 204 dated 07.05.2018.* 2018:19. (In Russ.)
3. *PAO «Rosseti» Kontseptsiya «Tsifrovaya transformatsiya 2030» = PJSC ROSSETI Concept "Digital Transformation 2030".* Moscow, 2018:31. (In Russ.)
4. Zakharenko S.G., Malakhova T.F., Zakharov S.A. [et al.]. Analysis of accidents in the electric grid complex. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University.* 2016;(4):95–98. (In Russ.)
5. Artamonov D.V., Golubkov P.E., Pecherskaya E.A. [et al.]. Methods of applying the reliability theory for the analysis of micro-arc oxidation process. *Journal of Physics: Conference Series.* 2018;1124(8):081014.
6. Golubkov P.E., Pecherskaya E.A., Martynov A.V. Application of quality control tools for the analysis of micro-arc oxidation process. *Radioelektronika. Problemy i perspektivy razvitiya: tezisy dokladov tret'ey Vseros. molod. nauch. konf. = Electronics. Problems and prospects of development:abstracts of the third All-Russian young. scientific conf.* Tambov, 2018:111–113. (In Russ.)
7. *Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii elektricheskikh stantsiy i setey Rossiyskoy Federatsii. Utv prikazom Minenergo RF ot 19 iyunya 2003 g. № 229. 169 s. = Rules of technical operation of electric power stations and networks of the Russian Federation. Approved by the Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated June 19, 2003 No. 229. 169 p.* (In Russ.)
8. Li Z., Tang W., Lian X. [et al.]. A resilience-oriented two-stage recovery method for power distribution system considering transportation network. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems.* 2022;135:107497.
9. Alberdi R., Fernandez E., Albizu I. [et al.]. Overhead line ampacity forecasting and a methodology for assessing risk and line capacity utilization. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems.* 2021;133:107305.

Информация об авторах / Information about the authors

Владислав Александрович Листюхин
аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: Vladyan4iklist@yandex.ru

Vladislav A. Listyukhin
Postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Екатерина Анатольевна Печерская
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой
информационно-измерительной
техники и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: peal@list.ru

Ekaterina A. Pecherskaya
Doctor of technical sciences,
associate professor,
head of the sub-department
of information-measuring
equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 25.10.2021

Поступила после рецензирования/Revised 01.12.2021

Принята к публикации/Accepted 07.12.2021