

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

УДК 006.915 + 621.311

**ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ  
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ***Н.И. Иванова, А.Д. Дементьев, Г.Г. Валиева**Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*© Иванова Н.И., Дементьев А.Д.,  
Валиева Г.Г., 2022

**Аннотация.** В статье исследованы основные проблемы метрологического обеспечения такого метода неразрушающей диагностики состояния воздушных линий электропередач, как тепловизионный контроль. Приведена информация о классификации и приборах, зафиксированных в нормативно-технологической документации и используемых в тепловизионной диагностике. Рассмотрены основные аспекты метрологического обеспечения тепловизионной техники. Представлены пути решения обозначенных проблем.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередач, методы дистанционного контроля, тепловизионный контроль, метрологическое обеспечение.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-45-50****ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время на территории Российской Федерации передача электроэнергии от производителя к потребителю осуществляется в основном воздушным путем при помощи воздушных линий электропередач (ВЛЭП). Основными составляющими ВЛЭП являются неизолированные проводники электрического тока (провода), прикрепленные к опорам или инженерным конструкциям с помощью арматуры, изоляторов и траверс. Обязательными составляющими ВЛЭП, необходимыми для работы линий и бесперебойной передачи электроэнергии, выступают грозозащитные тросы, заземление и разрядники.

Одна из главных проблем использования ВЛЭП – высокие потери электроэнергии, которые возникают как на преобразователях, так и на проводных линиях [1]. Подобные потери связаны с работой и характеристиками электрооборудования, свойствами и материалом проводников электроэнергии, а также с неблагоприятными погодными условиями и неисправностью компонентов сетей. В связи с этим контроль состояния ЛЭП является одной из наиболее острых проблем сетевых компаний, занимающихся поставками электроэнергии.

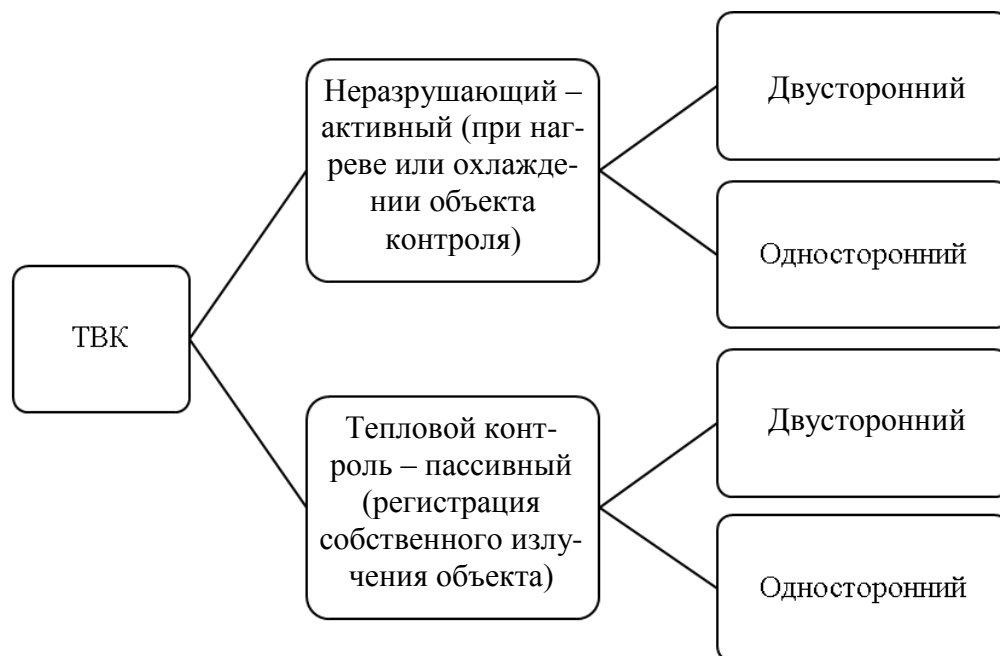
### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На сегодняшний день контроль исправности ВЛЭП осуществляется в основном визуально персоналом электросетевых компаний. Большое влияние субъективного (человеческого) фактора при сборе, обработке и хранении информации, высокая трудоемкость и затраты времени, а также сложность некоторых участков ВЛЭП для осмотра создают необходимость разработки различных методов дистанционного контроля [2]. К таким методам относят лазерное сканирование, аэрофотосъемку, спутниковый мониторинг, телеметрический контроль, осциллографирование и т.д.

Одним из наиболее эффективных методов контроля и обследования электрооборудования считается тепловизионный контроль (ТВК). Данный метод отличается высокой скоростью проведения измерений, простотой оборудования и исполнения измерений, высокой доступностью и дешевизной средств измерения. Основным достоинством ТВК является отсутствие необходимости отключения электроэнергии при проведении измерений.

Нарушение целостности или неисправность в ВЛЭП приводят к росту сопротивления проводника, что, в свою очередь, приводит к изменению его температуры. Тепловизионный контроль основан на сравнении температур различных участков поверхности аппаратов, работающих в одинаковых условиях нагрева и охлаждения. Принцип действия тепловизионной техники заключается в преобразовании излучения инфракрасного диапазона в видимый диапазон длин волн излучения.

Методы ТВК можно разделить на несколько групп (рисунок).



Классификация методов ТВК

Основным средством измерения в ТВК являются тепловизоры, в некоторых случаях могут использоваться пирометры. Помимо тепловизора, для правильного измерения и достоверной оценки состояния контролируемого объекта применяется дополнительная измерительная техника: термогигрометры, анемометры, контактные термометры, лазерные

дальномеры и т.д. Использование тепловизионной диагностики для контроля электрооборудования регламентируется СТО 34.01-23.1-001-2017 [3], а также РД 153-34.0-20.363-99 [4].

Большое разнообразие типов средств контроля при тепловизионной диагностике, влияние погодных условий, расстояние до объекта диагностики, тип материала проводника и другие факторы приводят к тому, что оценка правильности и достоверности результатов диагностики затрудняется. Таким образом, метрологическое обеспечение средств тепловизионной диагностики является актуальным и значимым вопросом [5].

Для корректной диагностики состояния ВЛЭП используемые средства контроля требуют периодического осмотра и поверки. Применяемые приборы должны быть исправны, их метрологические характеристики должны соответствовать требованиям, регламентируемым Федеральным законом № 102-ФЗ [6] и ГОСТ Р 8.619-2006 [7]. Важную роль играет погрешность средств диагностики. Современные тепловизоры имеют погрешность измерения не более  $\pm 2$  °С в диапазоне температур от  $-50$  до  $200$  °С и  $\pm 0,02 \cdot t_{\text{изм}}$  (где  $t_{\text{изм}}$  – измеренное значение температуры) при температурах выше  $200$  °С. Ряд моделей имеют более высокую точность измерений, и погрешность этих приборов не превышает  $\pm 1$  °С [8]. Метрологическое обеспечение тепловизоров в РФ осуществляется на основании схемы ГОСТ Р 8.558-2009 [9], а также Постановления Правительства РФ от 23.09.2010 № 734 [10].

Важной задачей при проведении поверок и осуществлении метрологического обеспечения тепловизионной техники является разработка нормативной документации и эталонной базы. Современные реалии требуют создания новых высокоточных источников излучения, освоения современных оптических технологий, применения элементной базы и цифровых способов обработки сигналов на базе современных вычислительных систем.

В настоящее время как в мире, так и в Российской Федерации ведутся разработки новых эталонных излучателей, средств калибровки оптических систем, средств калибровки и испытаний тепловизионных и радиометрических приборов. Данными разработками занимаются национальные метрологические центры: NIST (США), PTB (Германия), NPL (Великобритания); компании по производству тепловизионной техники: Santa Barbara Infrared, Inc.; Vega International, Inc.; Electro Optical Industries, Inc.; Infrared Systems Development; CI Systems, Inc. В РФ разработкой средств измерений и контроля характеристик тепловизионных приборов занимаются Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева и Государственный институт прикладной оптики. На данный момент существует огромная база нормативно-технической документации и эталонов для метрологического обеспечения средств ТВК. Тем не менее эта база не может охватить весь спектр параметров и характеристик тепловизионной техники.

Важной задачей поверки тепловизионных средств является их калибровка. Современные калибраторы температур зачастую характеризуются значительными погрешностями измерения. Как следствие, метрологическое обеспечение тепловизионной техники сталкивается с проблемой разработки средств калибровки [11]. Кроме того, поверка, калибровка и градуировка предусматривают наличие эталонных средств измерения. В Российской Федерации на сегодняшний день практически прекращен выпуск моделей «абсолютно черных тел», температурных ламп, предназначенных для поверки пирометров полного и частичного излучения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обозначенные проблемы могут решаться в нескольких направлениях:

1. Совершенствование имеющихся и разработка новых средств оценки характеристик тепловизионных приборов.
2. Установление четких требований в отношении диапазона и точности тепловизионных приборов.
3. Усовершенствование методик расчета поправочных коэффициентов, учитывающих погодные условия и излучение близлежащих объектов.
4. Разработка единой системы метрологического обеспечения средств измерения и контроля характеристик современных тепловизионных приборов.
5. Совершенствование нормативной базы по обеспечению метрологического контроля современных тепловизионных приборов.
6. Увеличение объемов финансирования исследований и мероприятий, направленных на разработку и развитие метрологического обеспечения современных тепловизионных приборов.

Таким образом, метрологическое обеспечение методов неразрушающей диагностики ВЛЭП, направленное на минимизацию потерь электроэнергии, требует развития измерительной, нормативной и эталонной базы обеспечения измерения и контроля характеристик тепловизионных средств измерения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самарин А.В., Масалов В.Н. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП // *Control Engineering Россия*. 2013. Т. 45. № 3. С. 88–94.
2. Полуянова М.С., Соколов Д.С., Боева Л.В., Киселев Г.Ю. Дистанционные методы обследования линий электропередач // *Молодой ученый*. 2017. Т. 156. № 22. С. 68–70.
3. Объем и нормы испытания электрооборудования: Стандарт организации СТО 34.01-23.1-001-2017. Введен 29.05.2017. 262 с.
4. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и воздушных линий: Руководящий документ РД 153-34.0-20.363-99. М.: СПО ОРГРЭС, 2001.
5. Спивак Е.В., Минин О.В. Метрологическое обеспечение инфракрасных средств теплового контроля // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*. 2018. № 9. С. 53–55.
6. Об обеспечении единства измерений: Федер. закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_77904/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/) (дата обращения: 15.08.2022).
7. Приборы тепловизионные измерительные: Государственный стандарт ГОСТ Р 8.619-2006. М.: Стандартиформ, 2006.
8. Гоголинский К.В., Сильд Ю.А. Метрологическое обеспечение средств теплового неразрушающего контроля: измерительных тепловизоров и пирометров // *NDT World*. 2017. Т. 20. № 1. С. 21–24.
9. Государственная поверочная схема для средств измерения температуры: Государственный стандарт ГОСТ Р 8.558-2009. М.: Стандартиформ, 2019.
10. Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений: Постановление Правительства РФ от 23.09.2010 № 734. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_117000/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_117000/)

consultant.ru/document/cons\_doc\_LAW\_105375/c3ec6e9a025029aba40604844226dad91ee2a7c2/ (дата обращения: 15.08.2022).

11. Акимова И.А., Булатова А.Г., Вихарева Н.А. Разработка методики калибровки тепловых излучателей для определения метрологических характеристик оптоэлектронных приборов // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*. 2019. № 7. С. 3–7.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*ИВАНОВА Наталья Игоревна* – кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, Тверской государственной технической университет, 170023, Россия, г. Тверь, пр. Ленина, д. 25. E-mail: enatashai19@yandex.ru

*ДЕМЕНТЬЕВ Андрей Дмитриевич* – магистрант, Тверской государственной технической университет, 170023, Россия, г. Тверь, пр. Ленина, д. 25. E-mail: sulman@online.tver.ru

*ВАЛИЕВА Гунча Гочмурадовна* – магистрант, Тверской государственной технической университет, 170023, Россия, г. Тверь, пр. Ленина, д. 25. E-mail: sulman@online.tver.ru

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Иванова Н.И., Дементьев А.Д., Валиева Г.Г. Проблемы метрологического обеспечения тепловизионной диагностики воздушных линий электропередач // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 4 (16). С. 45–50.

---

### PROBLEMS OF METROLOGICAL SUPPORT OF THERMAL IMAGING DIAGNOSTICS OF OVERHEAD POWER LINES

*N.I. Ivanova, A.D. Dementyev, G.G. Valieva*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** This article discusses the main problems of metrological support for such a method of non-destructive diagnostics of the state of overhead power lines as thermal imaging control. Information is provided on the classification and devices recorded in the regulatory and technological documentation and used in thermal imaging diagnostics. The main aspects of metrological support of thermal imaging equipment are considered. The ways of solving the indicated problems are presented.

**Keywords:** overhead power transmission lines, remote control methods, thermal imaging control, metrological support.

#### REFERENCES

1. Samarin A.V., Masalov V.N. Modern technologies for monitoring overhead power grids of power lines. *Control Engineering*. 2013. Vol. 45. No. 3, pp. 88–94. (In Russian).
2. Polyuanova M.S., Sokolov D.S. Remote methods of inspection of power transmission lines. *Molodoj ychenij*. 2017. Vol. 156. No. 22, pp. 68–70. (In Russian).
3. Obem i normi ispitaniya elektrooborydivaniya [Scope and standards of testing of electrical equipment]: Standart organizacii STO 34.01-23.1-001-2017. Introduced 29.05.2017. 262 p.

4. Osnovnie polozheniya metodiki infrakrasnoj diagnostiki elektrooborydovaniya I vozdyshnix linij [The main provisions of the methodology of infrared diagnostics of electrical equipment and overhead lines]: Rykovodyashij dokument RD 153-34.0-20.363-99. Moscow: SPO ORGRES, 2001.
5. Spivak E.V., Minin O.V. Metrological support of IR means of thermal control. *Interekspo GEO-Sibir*. 2018. No. 9, pp. 53–55. (In Russian).
6. Ob obespechenii edistva izmerenij [On ensuring the uniformity of measurements]: Federal Law No. 102-FZ of 26.06.2008. Access from the legal reference system “ConsultantPlus”. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_77904/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/) (date of access: 15.08.2022).
7. Pribori teplovizionnie izmeritelnie [Thermal imaging measuring devices]: State Standard GOST R 8.619-2006. Moscow: Standartinform, 2006.
8. Gogolinskij K.V., Sild U.A. Metrological support of means of thermal non-destructive testing: measuring thermal imagers and pyrometers. *NDT World*. 2017. Vol. 20. No. 1, pp. 21–24. (In Russian).
9. Gosydarstvennaya poverochnaya sxema dlya sredstv izmereniya temperatury [State verification scheme for temperature measuring instruments]: State Standard GOST R 8.558-2009. Moscow: Standartinform, 2019.
10. Ob etalonax edinic velichin, ispozyemix v sfere gosydarstvennogo regyirovaniya obespecheniya edinstva izmerenij [About standards of units of quantities used in the field of state regulation of ensuring the uniformity of measurements]: Decree of the Government of the Russian Federation No. 734 dated 23.09.2010. Access from the legal reference system “ConsultantPlus”. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_105375/c3ec6e9a025029aba40604844226dad91ee2a7c2/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_105375/c3ec6e9a025029aba40604844226dad91ee2a7c2/) (date of access: 15.08.2022).
11. Akimova I.A., Bulatova A.G., Vihareva N.A. Development of a method for calibration of thermal emitters for determining the metrological characteristics of optoelectronic devices. *Interekspo GEO-Sibir*. 2019. No. 7, pp. 3–7.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*IVANOVA Natalia Igorevna* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 25, Lenin av., Tver, 170023, Russia. E-mail: enatahai19@yandex.ru

*DEMENTIEV Andrey Dmitrievich* – Master's Student, Tver State Technical University, 25, Lenin av., Tver, 170023, Russia. E-mail: sulman@online.tver.ru

*VALIEVA Guncha Gochmuradovna* – Master's student, Tver State Technical University, 25, Lenin av., Tver, 170023, Russia. E-mail: sulman@online.tver.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Ivanova N.I., Dementyev A.D., Valieva G.G. Problems of metrological support of thermal imaging diagnostics of overhead power lines // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 45–50.