

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-111-118

^{1,*}Мамонтов А.Н., ²Шпиганович А.Н., ²Шпиганович А.А.¹ПАО Новоліпецький металургічний комбінат²Ліпецький державний технічний університет

*E-mail: mamontov.anton2015@mail.ru

ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ТОКОПРОВОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ АГРЕГАТОВ

Аннотация. За последние 20 лет промышленное производство в России выросло почти на 80 %. Увеличение нагрузки, вызванное ростом мощностей предприятия, требует исполнения распределительных устройств большого сечения, чего можно достигнуть применением параллельно проложенных кабельных линий или с помощью газовых токопроводов. Согласно российским правилам и нормам, разработанным сетевыми компаниями, контролирующими параметры работы энергетических установок, токопровод – это устройство, выполненное в виде шин или проводов с изоляторами и поддерживающими конструкциями для передачи и распределения электрической энергии в пределах электростанции, подстанции. Рассмотрено их назначение в системе электроснабжения, конструктивные особенности, включающие в себя проводящие, заземленные и другие вспомогательные токоведущие части и строительные конструкции, методы контроля и диагностики, неисправности, возникающие в ходе эксплуатации, описана оптимальная периодичность для выявления неисправностей токопровода. В качестве исследования проведен тепловизионный контроль гибких водоохлаждаемых токопроводов напряжением 0,4 кВ агрегата «печь-ковш», токопроводов напряжением 10 кВ, а также элегазовых токопроводов напряжением 110 кВ. Представлены термограммы локальных нагревов, сделаны выводы о влиянии диагностики токопровода на эффективность его работы и причинах возникновения перегрева конструкций.

Ключевые слова: токопровод, тепловизионный контроль, нагрев, старение, провалы напряжения.

Введение. Комплектный экранированный токопровод предназначен для электрического соединения генератора с силовыми трансформаторами, а также с трансформаторами собственных нужд и цепей возбуждения электростанций. Токопровода представляют собой сложную конструкцию, выполненную из проводников, изолированных от заземленных частей твердыми диэлектрическими материалами, имеющих защитную оболочку, ответственные устройства для защиты от магистральных шин, поддерживающие и опорные части. Данный элемент обеспечивает видимый разрыв до токоведущих частей, что упрощает процедуру технического обслуживания, осмотров и повышает безопасность электроустановок. Отказ токопровода способен привести к возгоранию в ходе проведения технологического процесса, а в элегазовых подстанциях – к выбросу элегаза в закрытом пространстве и возможности отравления человека парами фторидов и оксида серы. Диагностика токопровода разрабатывается с целью определения качественных и количественных характеристик, с помощью которых можно охарактеризовать их техническое состояние как объекта, обеспечивающего непрерывное функционирование производства и передачи электрической энергии. Самым распространенным методом диагностики, выявляющим неисправности, является тепловизионный контроль

[1–3]. Основными неисправностями, выявляемыми в ходе контроля и диагностики, являются дефекты контактных соединений, выравнивающих обкладок, заземлений и твердой изоляции [4–6]. Целью данной работы, обозначается научная проблематика исследования неисправностей, связанная с учетом особенностей протекания тока внутри элементов конструкции токопровода как основного элемента электрических машин и преобразователей энергии, а научной новизной является фундаментализация метода тепловизионного контроля как источника проведения мониторинга определения неисправностей в случае влияния негативных производственных факторов, связанных с их возникновением, на технологический процесс, ранее не описываемой.

Материалы и методы. Согласно требованиям инструкций по эксплуатации тепловизионный контроль необходимо выполнять в межсезонье, как правило весной или осенью, желательно до восхода солнца ввиду возможности образования конденсата внутри токопровода, что может привести к образованию трещин внутри экрана, а также выявлению участков с пробитыми изоляторами. Возникающие при проведении осмотра нагревы изоляторов внутри экрана проявляются в виде возникающих по исследуемой поверхности токопровода температурных аномалий [7]. Измерения желательно проводить в безветрен-

ную погоду, скорость ветра не должна превышать 4 м/с. Ориентировка тепловизора с учетом поверхности измерения должна проводиться при следующих пределах: 0–60 °С – для окрашенных поверхностей, 0–40 °С – для металлических поверхностей.

Основная часть. Токопроводы напряжением 0,4 кВ в зависимости от конструктивного исполнения делятся на пофазно-изолированные и гибкие водоохлаждаемые [8-11]. В данной работе мы рассмотрим второй тип. Его конструкция представляет собой медный провод с расчетной токовой нагрузкой 150 кА, прикрепленный к медным наконечникам и помещенный в резиноканевый напорный рукав. Для уменьшения потерь на нагрев плотность тока принимают равным 2,3–3 А/мм². Благодаря данному исполнению токопровода появляется возможность установки фаз как можно ближе между собой, что приводит к снижению индуктивного сопротивления между фазами, обеспечивается наиболее эффективный способ подвода тока к электрододержателю и его охлаждению, что позволяет обеспечить высокую эффективность подключения индукционной или дуговой печи к шинам батарей конденсаторов и обеспечивают свободный ход при проведении плавильных мероприятий в ходе подъема печи в положении конденсационного слива металла. Водоохлаждаемые токопроводы выполняются в виде кабеля из меди, помещенного в защитный рукав, на концах которого применяется подача воды для отвода тепла, располагаются специальные медные наконечники с расположенными на них штуцерами. Температура воды до и после проведения плавки должна составлять 40–50 °С. Данный проводник используется в составе работы агрегата «печь-ковш» индукционных сталеплавильных печей [12], необходимых для обработки сталей различных марок: низко – и углеродистой, низколегированной, электротехнической, применяемой в автомобильной, строительной, бытовой промышленности и в качестве производства стали для электрического транспорта. Термограмма изображена на рис. 1.



Рис. 1. Термограмма гибкого водоохлаждаемого токопровода 0,4 кВ

Токопровод данного агрегата служит в составе конструкции подъема электродов, состоящей из подъемных колонн с мачтовыми опорами, подъемных цилиндров, осуществляющих их подъем и опускание, дополнительно оснащенные гидропанелями, напрямую подключаемыми к гидравлической магистрали. Цилиндры необходимы для поддержания электрической дуги в ходе плавки агрегата «печь-ковш» между электродами и ванной металла. Электрододержатели крепятся к водоохлаждаемой горизонтальной секции колонн, которая называется опорой и имеет полную электрическую изоляцию. Для

контроля качества проведения плавильного процесса необходимо обеспечить требуемое усилие затяжки болтов стяжных шпилек на данном агрегате, которое должно составлять 800 кН, при необходимости требуется заделка изоляционной пластины высокотемпературным силиконовым герметиком. Исходя из рис. 1 можно предположить о протекании тока повышенной величины в месте контакта, вызванного недостаточным контролем нагрузки.

Далее рассмотрим токопровода, относящиеся к генераторному типу. В зависимости от типа

охлаждения они делятся на токопроводы с естественным и принудительным охлаждением. Они могут встраиваться напрямую в генераторную обмотку при токовых нагрузках 28–40 кА при максимальном уровне напряжения до 36 кВ. В данной статье рассмотрен первый тип, отличающийся сравнительной простотой и возможностью сведения к минимуму сервисного обслуживания, а также снижению уровня магнитного поля менее 5 %. Данное исполнение токопровода в случае возникновения короткого замыкания на одну фазу при пробое воздушного промежутка не сможет ухудшить изолирующую способность других фаз. Изоляторы имеют защиту от влаги и пыли. Экранирование проводящих частей гарантирует безопасность для обслуживающего персонала. Таким образом, междуфазное короткое замыкание для турбоагрегатов становится практически невозможным.

Токопровода напряжением 10 кВ [13, 14] впервые появились в 2008 году и применяются в качестве связующих элементов между бесщеточными турбогенераторами и силовыми трансформаторами. Исполнение позволяет эксплуатировать их внутри комплектных распределительных устройств. Токопровод представляет собой соединение из отдельных секций (блоков), изготавливаемых на заводе. Их основными преимуществами являются возможность прокладки единой цельносвариваемой конструкцией по всей длине трассы, возможность контроля всех сварных швов, возможность легкой и быстрой замены изоляторов в случае ремонта, изготовление изоляторов из полимера, сравнительно малая масса

по сравнению с другими электроэнергетическими объектами, высокая степень защиты (IP 54), а также отсутствие стальных элементов в конструкции. Каждая фаза элемента представляет собой шину, выполненную из меди либо алюминия, внешнего кожуха, служащего экраном заземления, и изолятора, приклепленного к крышке, которая соединяется с кожухом болтами. Шина закрепляется на изоляторе специальным держателем. Токопроводы по периметру прокладки трассы могут выполняться прямолинейными, угловыми, Т-образными и Z-образными. В зависимости от конструктивного исполнения в соответствии с техническим планом они могут оснащаться трансформаторами тока, напряжения, ограничителями перенапряжения, трехполюсными заземлителями, проходными изоляторами и другим электрическим оборудованием. Термограммы представлены на рис. 2–4. Согласно [15] температура токопровода напряжением 10 кВ может достигать 75 °С.

Если рассмотреть термограммы, изображенные на рис. 2–4, то в результате анализа можно сделать заключение, что нагревы токопроводов возникли в месте крепления заземляющего контура с кожухом, что привело к его ускоренному старению. Данные токопроводы работают в составе блока генератор-трансформатор, поэтому на время ремонта может допускаться токовая перегрузка одного-двух турбогенераторов на 15–20% для обеспечения режима максимальной отдачи системы электроснабжения, что в результате может привести к перегреву.

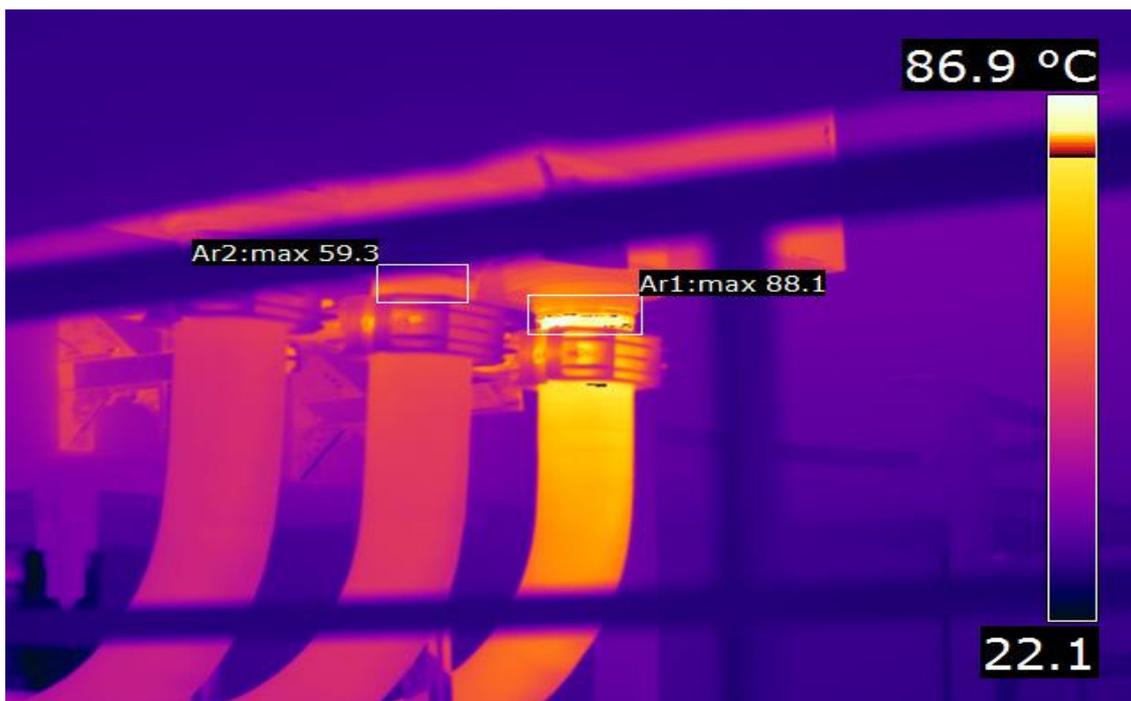


Рис. 2. Термограмма вертикального токопровода напряжением 10 кВ турбогенератора № 1



Рис. 3. Термограмма вертикального токопровода напряжением 10 кВ турбогенератора № 2

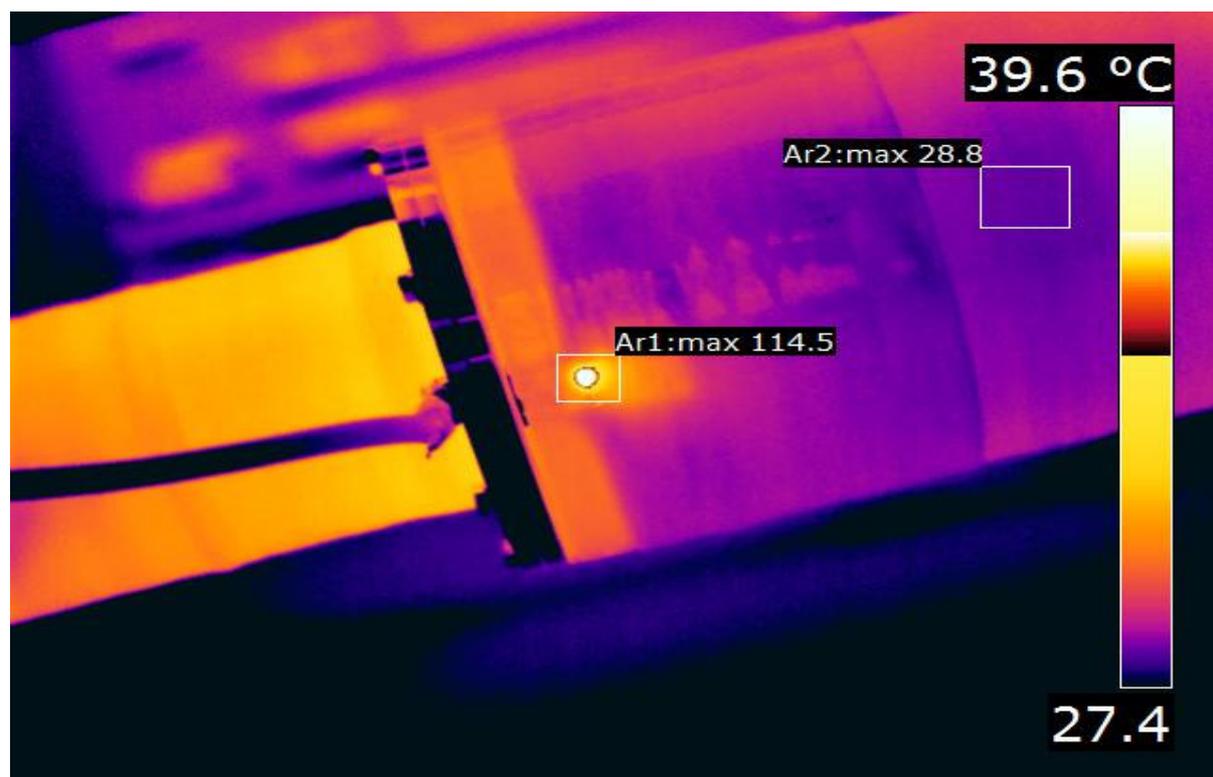


Рис. 4. Термограмма горизонтального токопровода напряжением 10 кВ турбогенератора № 3

В последнее время в электроэнергетических установках повсеместно применяются различные виды токопроводов, необходимых для передачи и распределения энергии между блоками, применяемых внутри электроустановки. Ввиду высокой нагрузки на электрическую сеть токопроводы имеют низкую возможность для осуществления передачи электрической энергии на большие расстояния, потому что это может быть

связано с ограничениями по термической стойкости, а также с резонансными колебаниями. В результате для осуществления нужд, связанных с энергетической безопасностью, большое распространение получили элегазовые (газоизолированные) токопроводы, которые представляют собой алюминиевые трубы, в которых устанавливаются токоведущие шины, а в качестве дугога-

сящей среды под герметичным корпусом в закрытом линейном проводнике применяется элегаз (SF₆). К преимуществам токопроводов данного исполнения можно отнести экологичность и безопасность для людей, пожаробезопасность, возможность горизонтального и вертикального исполнения в закрытых распределительных устройствах, компактность, высокую пропускную способность. Данные технологии вкупе с элегазовой изоляцией позволяют решить практически все проблемы, связанные с надежностью.

Элегазовые токопроводы, как правило, применяются внутри распределительных и главных понизительных подстанций, подстанций глубокого ввода, вертикальных вводов, для передачи тока по трубам с помощью линий, встроенных в мосты или транспортные туннели. В последние годы появилось второе поколение данных токопроводов, которое характеризуется низкой себестоимостью, применением смесей элегаза с азотом, который повышает эффективность гашения

электрической дуги при возникновении замыкания на землю, а также специальных устройств, необходимых для увеличения электрической прочности газа и его оболочки. В данной статье рассматриваются токопроводы, от которых получают электрическую энергию прокатные производства (горячий прокат, трансформаторная сталь, динамная сталь).

На термограмме, изображенной на рис. 5, представлен поворотный элемент конструкции токопровода, рассчитанный на напряжение 110 кВ. Данные изолирующие токопроводы, впервые появившиеся в 1976 г., представляют собой разъединители в комплекте с системами шин, трансформаторами тока (4 на каждую фазу) и заземлителями, заключенные в металлические трубчатые проводники. Максимальная величина электрического тока, проходящего через данный токопровод, может составлять до 1 кА [16, 17]. Согласно [18] температура оболочки данного элемента, находящегося на высоте и недоступного прикосновению человека, составляет 80 °С.

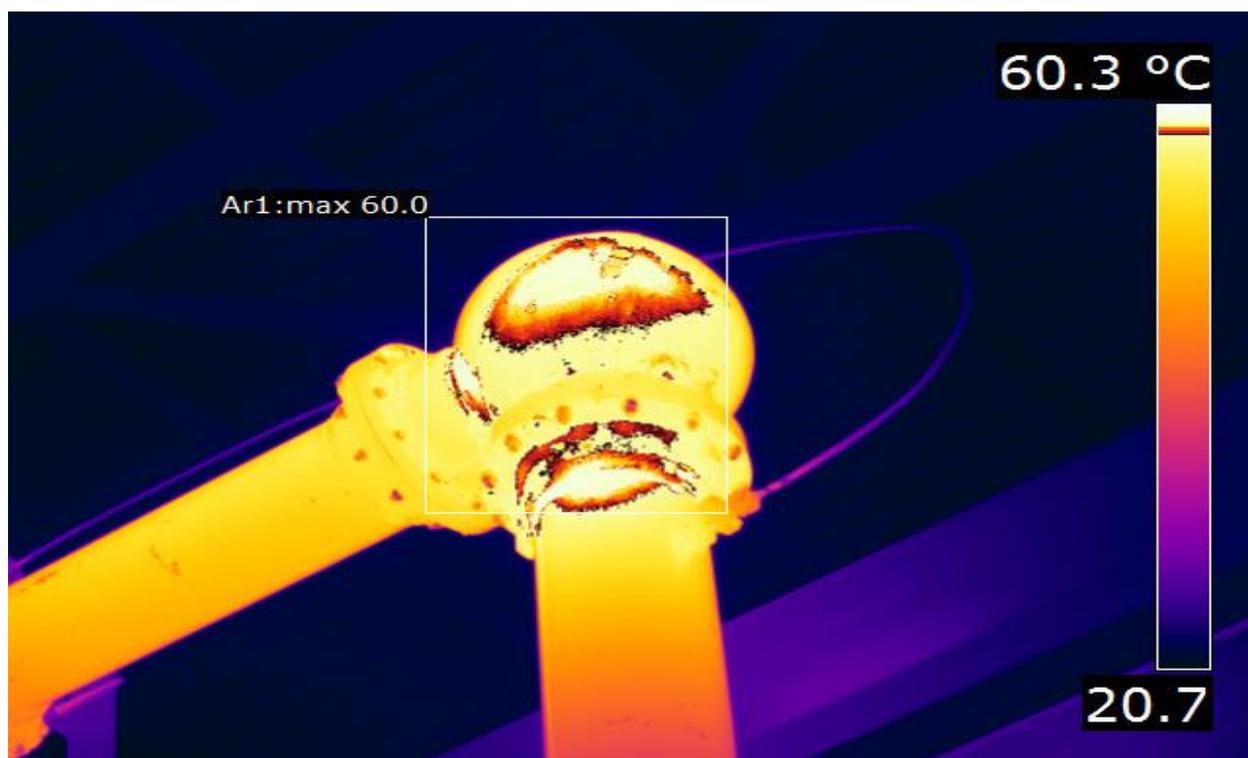


Рис. 5. Термограмма элегазового токопровода напряжением 110 кВ

Ввиду того фактора, что давление в элегазе в пять раз выше, чем в воздухе, то пробивное напряжение в этом случае будет рассчитываться по формуле [19, 20]:

$$U_{пр} = (E_{пр} / p) \cdot pS = (E/p)_k pS = 8,9 \cdot 10^{-4} pS,$$

где $(E/p)_k$ – локальное повышение напряжённости электрического поля сверх номинального, кВ / (см·Па), $k = 1,29$ – показатель адиабаты, p –

давление, Па, S – длина промежутка между электродами, см.

В результате полученных расчетов получается, что пробивное напряжение в элегазе будет составлять 59 кВ/см, в то время как в воздухе оно составляет 20 кВ/см.

Выводы.

1. Тепловизионный контроль токопроводов показал, что дефекты, возникающие в ходе экс-

плутации, связаны с возникновением коммутационных провалов напряжения, что и приводит к ускоренному старению изоляции и возникновению локальных нагревов болтов заземления экрана токопровода. Также это происходит в случаях эксплуатации при температуре выше 25 °С, поскольку внешняя оболочка токопровода, как правило, выполняется из алюминия, который рассчитан согласно ПУЭ на эксплуатацию в открытых распределительных устройствах, а также в закрытых при выполнении условий вытяжной вентиляции.

2. В отдельных случаях перегрев элементов может быть вызван неоднородностью электрического поля в случае разницы температур в помещении, где находится токопровод, и на улице, что может привести к переходу газа в жидкое состояние, и как следствие, пробую газовых промежутков. В частности, при проведенных исследованиях элегаз совершал переход при температуре ниже 0 °С.

Тепловизионный контроль позволяет выявлять неисправности, связанные с нагревом металлоконструкций в местах крепления экрана к токопроводу, а также своевременно сообщать об опасности приближения к неогражденным токоведущим частям и необходимости проведения ремонтных мероприятий, который должен выполняться высококвалифицированным персоналом, прошедшим обучение и подготовку в специализированных организациях и вузах с соответствующим профилем.

Источник финансирования. Грант РФФИ N14-48-03629 р_центр_а «Оптимизация динамики и энергосбережение в электротехнических комплексах металлургических производств».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мамонтов А.Н., Астанин С.С. Тепловизионный контроль воздушных линий электропередач // Липецк: журнал «Вести высших учебных заведений Черноземья». 2017. № 1. С. 1–7.

2. Шпиганович А.Н., Мамонтов А.Н., Бойчевский А.В. Тепловизионный контроль конденсаторов и высокочастотных заградителей // Тамбов: журнал «Вестник ТГТУ». 2020. Том 26. № 4. С. 555–562.

3. Чуркина Е.В., Мамонтов А.Н., Пушница К.А. Оценка технического ущерба от дефектов кабельных муфт напряжением 10–110 кВ // Липецк: журнал «Вести высших учебных заведений Черноземья». 2017. № 3. С. 3–11.

4. Стороженко В.А., Мешков С.Н., Маслова А.В. Тепловизионный контроль и диагностика энергетического оборудования // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2006. № 1. С. 33–37.

5. Баранов М.И. Локальный нагрев токопроводов силового электроэнергетического оборудования при аварийных режимах и токовых перегрузках: научное издание // Электротехника. 2014. № 6. С. 13–17.

6. СТО 34.01-23-004-2019 Диагностирование экранированных токопроводов и токопроводов с литой изоляцией. Москва: ПАО «Российские сети», 2019. 63 с.

7. Долин А.П., Долин С.А. Диагностика экранированных токопроводов и токопроводов с литой изоляцией. Электроинжиниринг, диагностика и сервис, 2017. 26 с.

8. Токопроводы 0,4–35 кВ с литой и воздушной изоляцией. Шинопроводы. Москва: ОАО «Мосэлектроштит», 2017. 36 с.

9. Pasterczik R.J., Martin C., Guichon J.-M., Schanen J.-L. Planar busbar optimization regarding current sharing and stray inductance minimization. 2005 European conference on Power Electronics and Applications, Dresden, Germany, 10 p.

10. Titanummantelte Stromschienen: научное издание. Galvanotechnik. 2008. Vol. 99(11). Pp. 2736–2737.

11. Gerhard M. Besonderheiten bei Aluminium-Stromschienen: научное издание // ETZ: Electrotechn. Z. 1988. Vol. 109. No. 20. Pp. 952–954.

12. Войнов А.Р., Ри Э.Х. Технология комплексной обработки сталей на агрегате «печьковш» (ladle-furnace). Хабаровск: Издательство ТОГУ, 2018. 64 с.

13. Каталог НТТ Токопровод. Санкт-Петербург: Новые технологии и системы, 2018. 20 с.

14. Armor plated lines: научное издание. TE Int. 1993. Vol. 17(3). P. 64.

15. Технический каталог № 6. Токопровод КТЕА 6 (10) кВ. Свердловская область, Березовский, 2019. 22 с.

16. Мухлина Е.С., Балобанов Р.Н. Особенности диагностирования и эксплуатации комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией // Казань: Казанский государственный технический университет. 2019. С. 132–136.

17. СТО 34.01-23-005-2019 Методические рекомендации по диагностированию элегазового оборудования. Москва: ПАО «Российские сети», 2019. 97 с.

18. СТО 56947007-29.120.60.115-2012. Токопроводы элегазовые на напряжение 110–500 кВ. Технические требования. Москва: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012. 24 с.

19. Полтев А.И. Конструкции и расчет элегазовых аппаратов высокого напряжения. Ленинград: Энергия, Ленинградское отделение, 1979. 240 с.

20. Поповцев В.В., Хальясмаа А.И., Патраков Ю.В. Численное моделирование взаимодействия дуги отключения с потоком элегаза в автокомпрессионном дугогасительном устройстве

элегазового выключателя 110 кВ // Екатеринбург: журнал «Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2023. Т.23. № 2. С. 30–45.

Информация об авторах

Мамонтов Антон Николаевич, кандидат технических наук, инженер. E-mail: mamontov.anton2015@mail.ru. ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат». Россия, 398005, Липецк, пл. Металлургов, д. 2.

Шпиганович Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, кафедра электрооборудования. E-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru. Липецкий государственный технический университет. Россия, 398055, Липецк, ул. Московская, д. 30.

Шпиганович Алла Александровна, доктор технических наук, профессор, кафедра экономики и финансов. E-mail: ef@stu.lipetsk.ru. Липецкий государственный технический университет. Россия, 398055, Липецк, ул. Московская, д. 30.

Поступила 12.03.2024 г.

© Мамонтов А.Н., Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., 2024

^{1,*}Mamontov A.N., ²Shpiganovich A.N., ²Shpiganovich A.A.

¹PJSC Novolipetsk Iron and Steel works,

²Lipetsk state technical university,

*E-mail: mamontov.anton2015@mail.ru

THERMAL CONTROL OF INDUSTRIAL UNIT CONDUCTORS

Abstract. Over the past 20 years, production in Russia has grown almost 80 percent. Increasing the load, caused by the growth of the company's capacity, it requires the execution of large-section switchgears, what can be achieved by using parallel cable lines or with the help of gas current lines. According to Russian rules and regulations, developed by network companies, controlling the operating parameters of power plants, the current line – this is a device made in the form of buses or wires with insulators and supporting structures, designed for the transmission and distribution of electrical energy with a power plant, substation and workshop. Their purpose was considered in the power supply system, design features, including conductive, grounded and other auxiliary live parts and building construction, control and diagnostic methods, manufacturing that occur during operation of the conductor, the optimal frequency for detecting busbar faults is described. As an example study thermal imaging control was carried out of flexible water-cooled conductors by voltage 0,4 kV of ladle furnace unit, conductors with voltage 10 kV as well as SF6 current conductors with voltage 110 kV. Thermograms of local heating are presented a conclusion was drawn about the causes of overheating of structures; conclusions were drawn about the impact of busbar diagnostics on the efficiency of its operation and the reasons for the occurrence of structural elements.

Keywords: conductor, thermal control, heat, aging, voltage dips.

REFERENCES

1. Mamontov A.N., Astanin S.S. Thermal control of power lines [Teplovizionnyy kontrol vozdushnykh liniy electropredach]. Lipetsk: journal «News of higher educational institutions of Chernozem region». 2017. No 1. Pp. 1–7. (rus)
2. Shpiganovich A.N., Mamontov A.N., Boychevsky A.V. Thermal control of capacitors and high frequency restrainers [Teplovizionnyy kontrol condensatorov i vysokochastotnykh zagraditeley]. Tambov: journal «Bulletin of TSTU». 2020. Vol. 26. No. 4. Pp. 555–562. (rus)
3. Churkina E.V., Mamontov A.N., Pushnitsa K.A. The technical damage assessment from defects in cable joints by voltage 10-110 kV [Otsenka teknischeskogo uscberba ot defectov kabelnykh muft

napryazheniem 10-110 kV]. Lipetsk: journal «News of higher educational institutions of Chernozem region». 2017. No. 3. Pp. 3–11. (rus)

4. Storozhenko V.A., Meshkov S.N., Maslova A.V. Thermal imaging control and diagnostics of power equipment [Teplovizionnyy kontrol i diagnostica energeticheskogo oborudovaniya]. Technical diagnostics and non-destructive testing. 2006. No. 1. Pp. 33–37. (rus)

5. Baranov M.I. Local heating of conductors of power electrical equipment in emergency modes and current overloads: scientific publication [Localnyy nagrev tokoprovodov silovogo elektroenergeticheskogo oborudovaniya pri avariynnykh regimakh i tokovykh peregruzkakh: nauchnoe izdanie]. Electrical engineering. 2014. No. 6. Pp. 13–17. (rus)

6. STI 34.01-23-004-2019 Diagnosis of shielded current lines and current lines with cast insulation / Moscow: PJSC «Russian networks» [Diagnostirovaniye ekranirovannykh tokoprovodov i tokoprovodov s lityo izolyatsiyey]. 2019. 63 p. (rus)
7. Dolin A.P., Dolin S.A. Diagnostics of shielded current lines and current lines with cast insulation [Diagnostirovaniye ekranirovannykh tokoprovodov i tokoprovodov s lityo izolyatsiyey]. Electrical engineering, diagnostics and service, 2017. 26 p. (rus)
8. Current lines 0,4-35 kV with cast and air insulations. Busbars. Moscow: JSC «Moselektroshchit», 2017. 36 p. (rus)
9. Pasterczik R.J., Martin C., Guichon J.-M., Schanen J.-L. Planar busbar optimization regarding current sharing and stray inductance minimization. 2005 European conference on Power Electronics and Applications, Dresden, Germany, 10 pp.
10. Titanummantelte Stromschienen: scientific publication. Galvanotechnik. 2008. Vol. 99. No. 11. Pp. 2736–2737.
11. Mier Gerhard. Besonderheiten bei Aluminium-Stromschienen: scientific publication. ETZ: Electrotechn. Z. 1988. Vol. 109. No. 20. Pp. 952–954.
12. Voynov A.R., Ree E.H. Technology of complex steel processing there is a ladle oven on the unit (ladle-furnace) [Technologiya kompleksnoy obrabotki staley na aggregate pech-kovsh]. Khabarovsk: Publishing house POFU, 2018. 64 p. (rus)
13. Catalog NTT Current line (Catalog NTT Tokoprovod). Saint Petersburg: New technologies and systems. 2018. 20 p. (rus)
14. Armor plated lines: scientific publication (Armor plated lines: nauchnoe izdanie). TE Int. 1993. Vol. 17(3). P. 64. (rus)
15. Technical catalog No 6. KTEA 6 (10) kV [Technicheskiy katalog No 6. Tokoprovod KTEA 6 (10) kV]. Sverdlovsk region, Berezovsky, 2019. 22 p. (rus)
16. Mukhlina E.S., Balobanov R.N. Features of diagnosis and operation of complex gas-insulated switchgears [Osobennosti diagnostirovaniya i ekspluatatsii komplektnykh raspredelitelnykh ustroystv s elagazovoy izolatsiyey]. Kazan: Kazan National Research Technical University. 2019. Pp. 132–136. (rus)
17. STI 34.01-23-005-2019 Guidelines for diagnosis SF6 equipment [Methodicheskie rekomendatsii po diagnostirovaniyu elegazovogo oborudovaniya]. Moscow: PJSC «Russian networks», 2019. 97 p. (rus)
18. STI 6947007-29.120.60.115-2012. Gas-fired current paperlines on voltage 110-500 kV. Technical requirements [Tokoprovody elegazovye na napryazhenie 110-500 kV. Technicheskie trebovaniya]. Moscow: JSC «FGC UES», 2012. 24 p. (rus)
19. Poltev A.I. Designs and calculations of gas-fired high-voltage devices [Konstruktsii i raschot elegazovykh apparatov vysokogo napryazheniya]. Leningrad: Energy, Leningrad branch, 1979. 240 p. (rus)
20. Popovtsev V.V., Hallyasmaa A.I., Patrakov Y.V. Numerical modeling of trip arc interaction with SF-6 gas flow in an auto-compression arc-extinguishing device [Tchislennoye modelirovaniye vzaimodeystviya dugi otkliucheniya s potokom elegaza v avtokompressionnom dugogasitel'nom ustroystve 110 kV]. Ekaterinburg: journal «Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering. 2023. Vol. 23. No. 2. Pp. 30–45.

Information about authors:

Mamontov Anton N. PhD, Engineer. E-mail: mamontov.anton2015@mail.ru. PJSC «Novolipetsk Iron and Steel Works». Russia, 398005, Lipetsk, sq. Metallurgist, 2.

Shpiganovich, Alexander N. DSc, Professor. E-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru. Lipetsk State Technical University. Russia, 398055, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30.

Shpiganovich, Alla A. DSc, Professor. E-mail: ef@stu.lipetsk.ru. Lipetsk State Technical University. Russia, 398055, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30.

Received 12.03.2024

Для цитирования:

Мамонтов А.Н., Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А. Тепловизионный контроль токопроводов промышленных агрегатов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 111–118. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-111-118

For citation:

Mamontov A.N., Shpiganovich A.N., Shpiganovich A.A. Thermal control of industrial unit conductors. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 8. Pp. 111–118. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-111-118