

А. И. Осипова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ОПТОВОЛОКОННОГО КАБЕЛЯ, ВМОНТИРОВАННОГО В ГРОЗОЗАЩИТНЫЙ ТРОС, ТОКАМИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Аннотация. Рассмотрен подход к определению возможности интеграции волоконно-оптического кабеля с проводящей оболочкой в систему группового заземления в средства повышения надежности и безопасности работы железной дороги постоянного тока. Критерием для принятия решения является температура нагрева элементов кабеля, определяемая в зависимости от величины протекающего тока и времени срабатывания релейной защиты. В качестве инструмента для расчета температуры всех элементов кабеля, включая оптический модуль с оптическими волокнами, предложена программа, использующая в качестве основного алгоритма метод конечных элементов. Исходными данными для выполнения моделирования являются ток в кабеле, данные о конструкции кабеля, а также технические характеристики элементов кабеля.

Ключевые слова: токи короткого замыкания, волоконно-оптический кабель, групповое заземление опор, термическая деградация, тепловой импульс.

Для цитирования: Осипова, А. И. Моделирование процесса нагрева оптоволоконного кабеля, вмонтированного в грозозащитный трос, токами короткого замыкания / А. И. Осипова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 1. – С. 159–166. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_1_159.

Введение

Внедрение волоконно-оптических линий связи в качестве структурного элемента электрифицированных железных дорог, начавшееся в 90-е годы прошлого столетия, на сегодняшний день активно продолжается. Эксплуатирующими компаниями ведется как прокладка новых линий связи, так и модернизация существующих, с учетом новых возможностей и достижений науки и техники. Исследования рынка кабельной продукции для волоконно-оптических линий связи последних лет показывает активное снижение отпускной цены кабелей с металлической оболочкой при одновременном росте стоимости самонесущих кабелей, в качестве усиливающего элемента которых используется кевларовая нить. Для ряда образцов кабельной продукции кабели с металлической оболочкой имеют цену равную либо ниже стоимости диэлектрических кабелей, содержащих в своей структуре кевлар. При этом следует отметить, что построенные ранее и сооружаемые в настоящее время линии связи выполняются, как правило, именно самонесущим кабелем, что в текущей экономической обстановке является экономически нецелесообразным.

Основная часть

Использование в качестве волоконно-оптического кабеля для линий связи железной дороги металлического кабеля типа ОКГТ – оптического кабеля, вмонтированного в грозозащитный трос [1–3], открывает целый ряд дополнительных перспектив для повышения надежности и безопасности функционирования электрифицированных железных дорог постоянного тока [5]. Примером такого использования является интеграция существующей системы группового заземления опор с проводящей оболочкой ОКГТ [4]. Такое техническое решение позволит одновременно решить несколько серьезных проблем, а именно: повысить токи удаленных коротких замыканий, тем самым улучшив условия работы релейных защит, снизить величину напряжения прикосновения к опоре при аварии и повысить показатели надежности собственно системы группового заземления [6–9]. Однако для принятия решения о такой интеграции возникает вопрос о возможном негативном влиянии токов короткого замыкания, протекающих по оболочке кабеля на срок службы оптических волокон [11–14]. Для решения этой проблемы и получения однозначного ответа на вопрос возможности такого технического решения необходимо разработать подход, позволяющий выполнять подобные исследования.

При разработке алгоритма и методики анализа термической стойкости оптических волокон оптоволоконного кабеля будем полагать, что токи, протекающие по металлической части кабеля при аварии известны. Руководствуясь величиной этих токов, необходимо определить, вызовет ли их про-

течение по кабелю негативные изменения оптических волокон вследствие нагрева структуры всего кабеля. Очевидно, что процесс нагревания будет носить нестационарный характер, что определит выбор методики его исследования. При этом следует отметить, что вся кабельная продукция, выпускаемая промышленностью как нашей страны, так и зарубежными производителями среди прочих характеризуется таким параметром как значение теплового импульса, являющимся по сути значением интеграла Джоуля:

$$\int_0^{\Delta t} i^2 dt = \Delta t \cdot I^2. \quad (1)$$

Данная величина используется проектными организациями на стадии принятия решения о прокладке того или иного типа кабеля ОКГТ, выполняющего функцию не только линии связи, но и грозо-защитного троса. Такой кабель, по своей конструкции способен выдерживать прямой удар молнии, причем без потери качества связи. Однако величина теплового импульса не используется на стадии проектирования систем грозостойкости линий, а необходима для сравнения с предельными значениями токов короткого замыкания, протекающих по ОКГТ в случае аварийных ситуаций на опорах воздушных линий. Возникновение коротких замыканий на ВЛ-110 кВ и выше, где применяется ОКГТ явление нечастое, в отличие от системы тягового электроснабжения, где ввиду особенностей конструкции возможность возникновения коротких замыканий с последующим действием АПВ более вероятно. Эта особенность может привести к повторному воздействию токов КЗ на еще нагретый волоконно-оптический кабель при неуспешном АПВ и его перегревы выше критически допустимой температуры. Нормативной документацией [11] оговаривается максимально допустимая длительная температура оптического модуля ВОК, которая не должна превышать 85 °С.

В данной работе в качестве платформы для исследования тепловых процессов в структуре ОКГТ выбрана программа, разработанная российскими программистами из Санкт-Петербурга, получившая название *Elcut Professional 6.3*. Это весьма универсальная платформа, предназначенная для решения целого ряда инженерных задач, в том числе и задачи нестационарной теплопередачи, решение которой необходимо в рамках проводимого исследования.

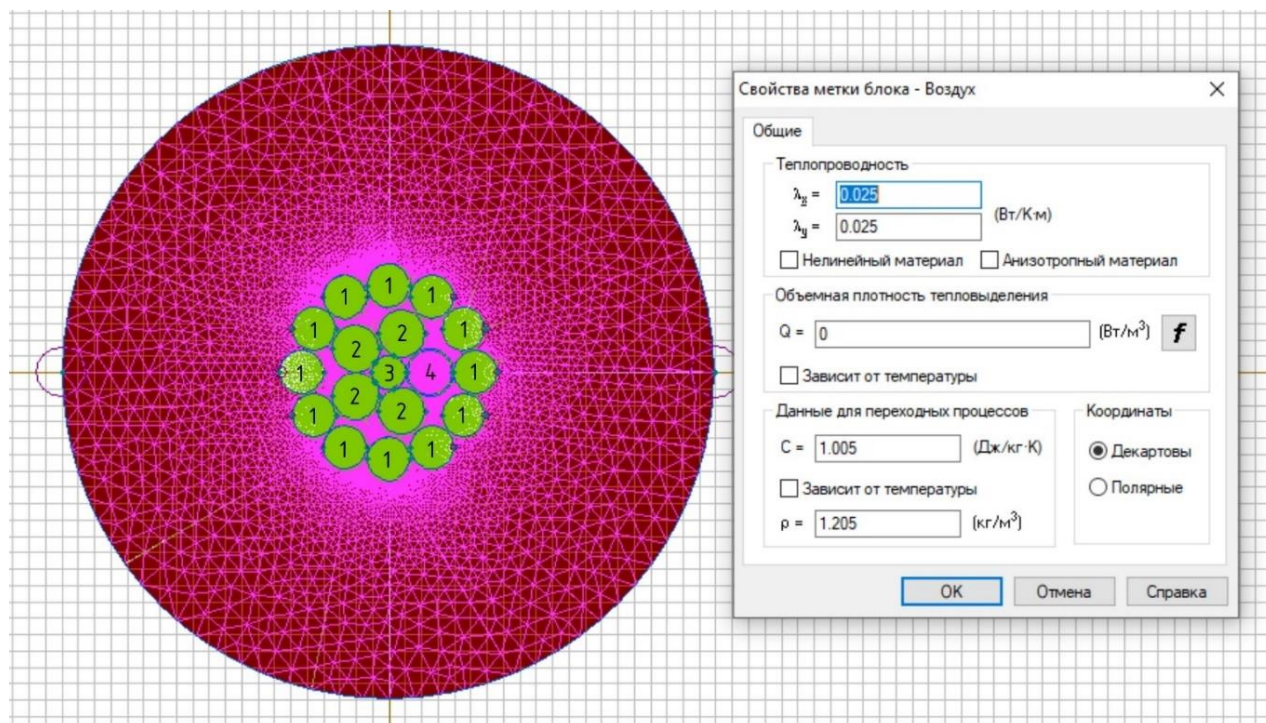


Рис. 1. Пример модели в среде *Elcut Professional 6.3*

В статье в качестве примера выбран оптоволоконный кабель, широко применяющийся на ЛЭП, марка ОКГТ–1–24(16 G.652/8 G.655)–13,3/94, расчетная модель показана на рис. 1. Ниже приводятся некоторые параметры кабеля, публикуемые заводом-изготовителем:

- эквивалентное сечение стали – 73,88 мм²;
- эквивалентное сечение алюминиевого сплава – 26,42 мм²;

- цифрой 1 обозначены проволоки из стального сплава, их диаметр 2,7 мм;
- цифрой 2 обозначены проволоки из алюминиевого сплава, их диаметр 2,9 мм;
- цифрой 3 обозначен центральный стальной элемент, его диаметр 2,1 мм.

Разработанная математическая модель объединяет три среды: алюминий, сталь и воздух. Материал каждой из этих сред обладает физическими параметрами, отличающимися от двух других. В расчете задаются параметры теплопроводности, теплоемкости и плотности для каждой среды. Среда, которая соответствует воздуху, окружающему исследуемый кабель, показана на рис. 1 сиреневым цветом. Полый оптический модуль с помещенными внутри него оптическими волокнами обозначен цифрой 4. Параметры материалов, перечисленных выше, приведены в таблице [15].

Технические характеристики материалов

Материал срезы	Теплопроводность, Вт/К·м	Теплоемкость, Дж/кг·К	Плотность, кг/м ³
Сталь	47	500	7870
Алюминий	204	920	2700
Воздух	0,025	1,005	1,205

Нагрев кабеля осуществляется за счет протекания по нему электрического тока, и мощность, выделяемая на его элементах в соответствии с законом Ленца – Джоуля, будет разогревать весь проводник. В областях конструкции кабеля, где металлических элементов нет, источники тепла также будут отсутствовать. Так как нагрев осуществляется постоянным током, следует учитывать только активную составляющую полного сопротивления всех составляющих кабеля ОКГТ. Для стальных проволок значение удельного сопротивления будет равно $\rho_{ст} = 0,11 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, алюминиевые элементы будут обладать сопротивлением $\rho_{ал} = 0,027 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$. Очевидно, что ток короткого замыкания будет неравномерно распределен в пределах сечения кабеля ОКГТ вследствие неоднородности сопротивления его элементов. Из курса теоретической электротехники известно, что ток в параллельных ветвях распределяется обратно пропорционально сопротивлению, а следовательно, для принятого типа кабеля получим:

$$\frac{I_{AL}}{I} = \frac{\rho_{СТАЛИ}/S_{СТАЛИ}}{\rho_{СТАЛИ}/S_{СТАЛИ} + \rho_{AL}/S_{AL}} = \frac{0,11/73,88}{0,11/73,88 + 0,027/26,42} = 0,593.$$

$$\frac{I_{СТАЛИ}}{I} = \frac{\rho_{AL}/S_{AL}}{\rho_{СТАЛИ}/S_{СТАЛИ} + \rho_{AL}/S_{AL}} = \frac{0,027/26,42}{0,11/73,88 + 0,027/26,42} = 0,407.$$

С учетом того, что и стальная, и алюминиевая части кабеля ОКГТ не являются монолитными, а состоят из проволок, определим долю тока в одной алюминиевой проволоке, здесь n – число алюминиевых проволок в повиве, для выбранного типа кабеля $n = 4$:

$$I_{AL} = \frac{I \cdot 0,593}{n} = \frac{I \cdot 0,593}{4} = 0,148 \cdot I.$$

Стальная часть кабеля представлена центральным стальным модулем, доля тока в котором будет определяться как

$$I_{CS} = 0,407 \cdot I \cdot \pi \cdot \left(\frac{2,1}{2}\right)^2 / S_{СТАЛИ} = 0,407 \cdot I \cdot \pi \cdot \left(\frac{2,1}{2}\right)^2 / 73,88 = 0,019 \cdot I,$$

а также двенадцатью стальными проволоками с долей тока

$$I_S = I \cdot \frac{0,407}{m} \cdot \left[1 - \pi \cdot \left(\frac{2,1}{2}\right)^2 / S_{СТАЛИ}\right] = I \cdot \frac{0,407}{12} \cdot \left[1 - \pi \cdot \left(\frac{2,1}{2}\right)^2 / 73,88\right] = 0,0323 \cdot I.$$

Выполним моделирование процесса нагрева кабеля постоянным током величиной 8200 А. Для работы модели необходимо определить объемную плотность тепловыделения:

$$Q = \frac{I^2 R}{V} = \frac{I^2}{\pi \cdot R^2 l} \cdot \frac{\rho}{\pi \cdot R^2}.$$

– Расчет для алюминиевой компоненты кабеля:

$$Q_{AL} = \frac{I_{AL}^2}{\pi \cdot R_{AL}^2} \cdot \frac{\rho_{AL}}{\pi \cdot R_{AL}^2} = \frac{(0,148 \cdot 8200)^2}{\pi \cdot (1,45 \cdot 10^{-3})^2} \cdot \frac{0,027}{\pi \cdot 1,45^2} = 9,15 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^3.$$

– Расчет для центрального силового элемента:

$$Q_{CS} = \frac{I_{CS}^2}{\pi \cdot R_{CS}^2} \cdot \frac{\rho_{СТАЛИ}}{\pi \cdot R_{CS}^2} = \frac{(0,019 \cdot 8200)^2}{\pi \cdot (1,05 \cdot 10^{-3})^2} \cdot \frac{0,11}{\pi \cdot 1,05^2} = 2,24 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^3.$$

– Расчет для стальной компоненты кабеля:

$$Q_{CS} = \frac{I_S^2}{\pi \cdot R_S^2} \cdot \frac{\rho_{СТАЛИ}}{\pi \cdot R_S^2} = \frac{(0,0323 \cdot 8200)^2}{\pi \cdot (1,35 \cdot 10^{-3})^2} \cdot \frac{0,11}{\pi \cdot 1,35^2} = 2,33 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^3.$$

Процесс моделирования запустим, положив начальную температуру среды и кабеля равной 20 °С, с интервалами 0,1 секунды. Результат моделирования для различных временных интервалов показан на рис. 2.

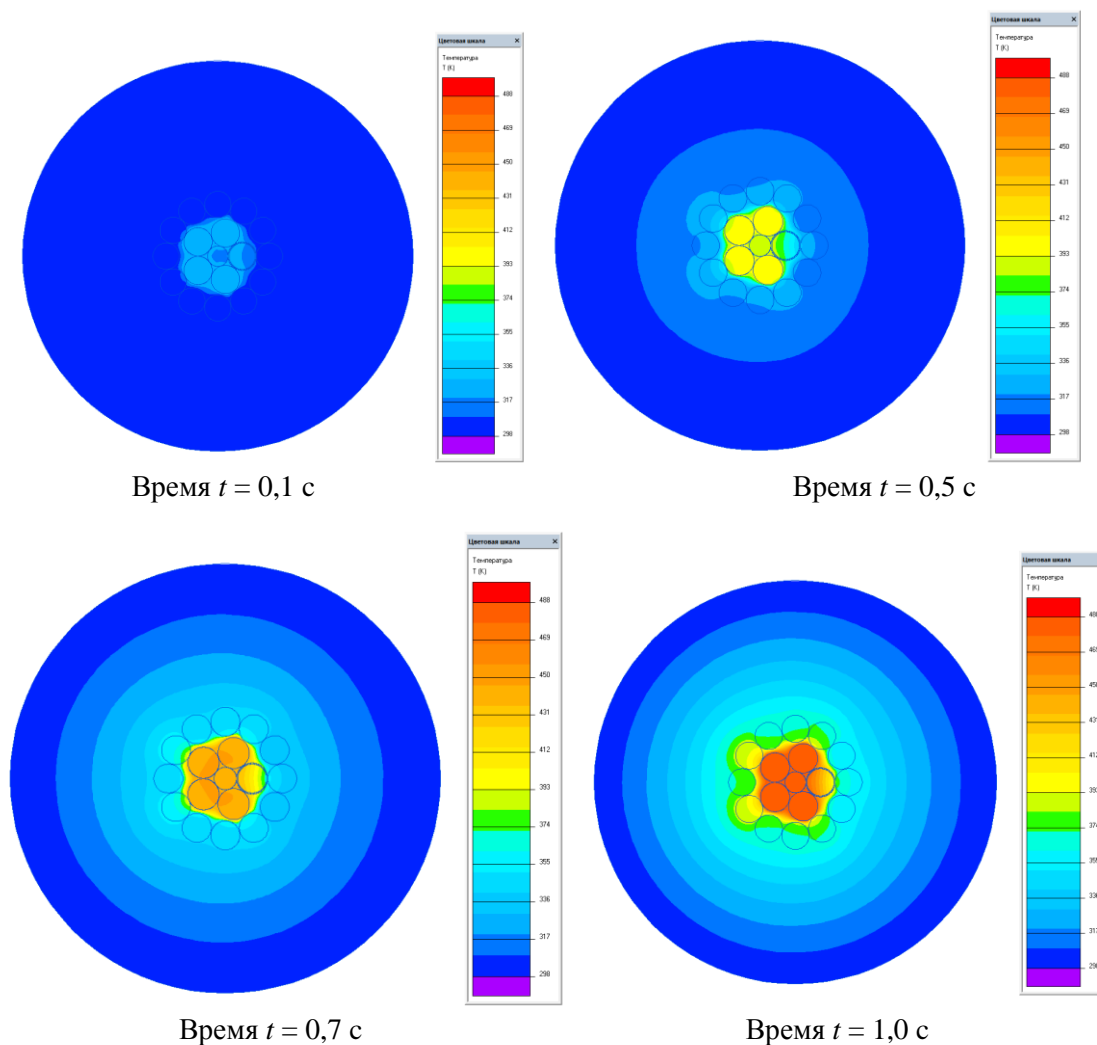


Рис. 2. Процесс нагрева кабеля ОКГТ током короткого замыкания

На рис. 3 представлена совмещенная с моделью кабеля диаграмма изменения температуры вдоль сечения кабеля для различных значений времени нагрева. Расчет выполнен с интервалом времени в одну десятую доли секунды, однако средства моделирования в среде *Elcut Professional 6.3* позволяют варьировать это значение в широком диапазоне для каждого конкретного случая.

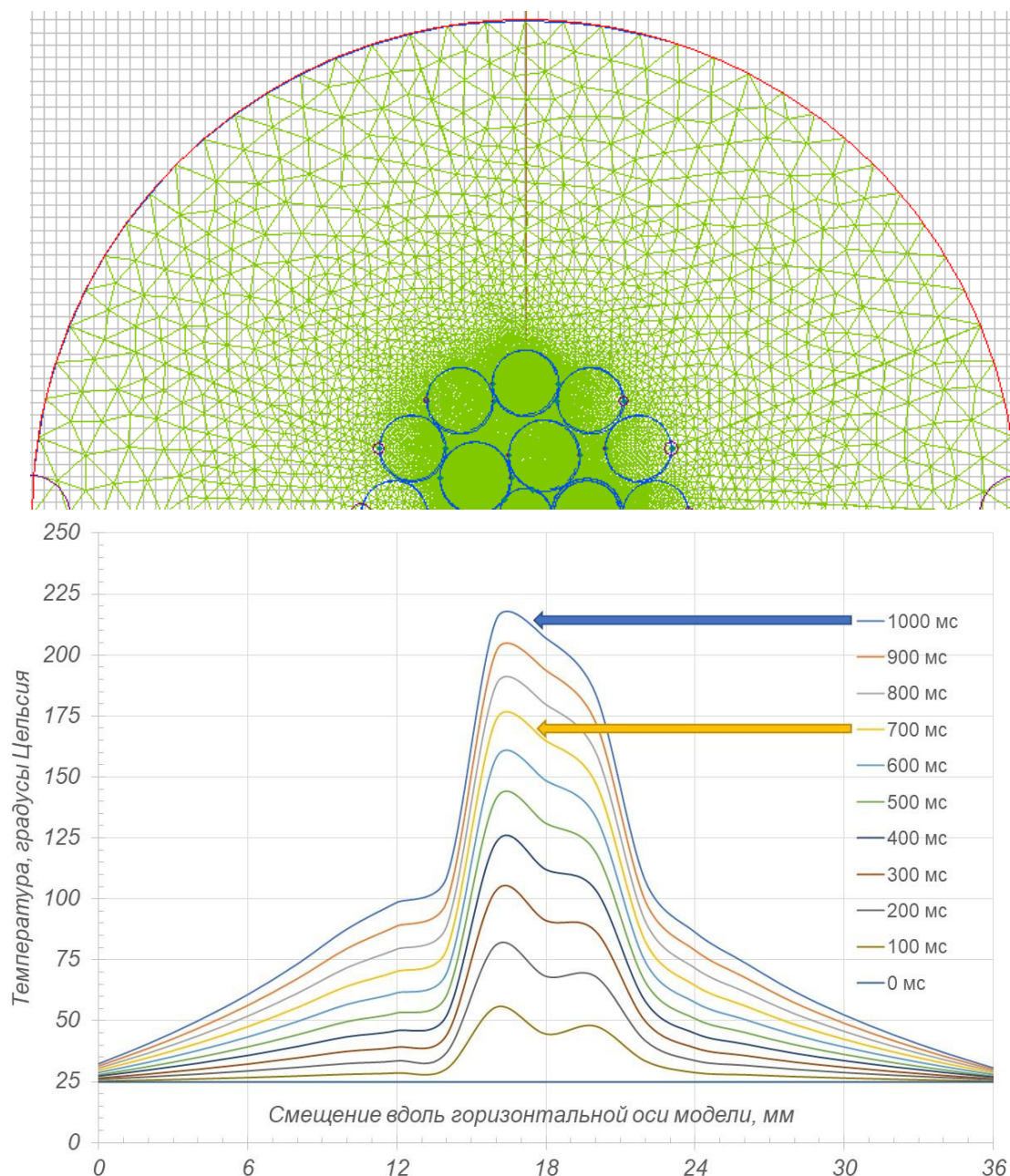


Рис. 3. График нагрева током короткого замыкания элементов кабеля ОКГТ

Полученные данные позволяют утверждать, что за время равное 1 секунде оптический модуль нагреется до температуры равной 200 °С, и это подтверждается характеристиками ОКГТ, приводимыми заводом. Этот факт позволяет говорить о том, что принятая модель дает правильный результат. Используя данные, полученные в результате моделирования, можно установить интервал времени, для которого нагрев не превысит 85 °С, тем самым обеспечив безопасные условия работы для ОКГТ. Изменяя значения токов короткого замыкания, протекающие в кабеле, следует изучить возможные интервалы времени и сделать вывод о том, могут ли нанести токи КЗ повреждение оптическим волокнам ОКГТ или нет. Также следует проанализировать процесс нагрева кабеля токами КЗ при неуспешном АПВ. В этом случае следует задать начальные значения температуры элементов, смоделировав процесс их остывания на открытом воздухе.

Выводы

Используя методику моделирования, описанную в статье, можно провести проверку практически любого типа проводящего кабеля на нагрев как токами короткого замыкания, так и токами при иных воздействиях. Результат, полученный в результате такой работы, позволит однозначно судить о возможности интеграции ОКГТ в ту или иную систему, где имеется потенциальная возможность для протекания токов. Руководствуясь результатами модельного эксперимента и данными о времени срабатывания всех ступеней релейной защиты, а также о времени и кратности срабатывания АПВ, можно сделать вывод об интеграции кабеля ОКГТ с системой группового заземления опор контактной сети на электрифицированных железных дорогах постоянного тока.

Список литературы

- 1 Кабель ОКГТ от «Инкаб» – грозотрос с оптическим волокном // Сайт компании «Инкаб». – URL: <https://incab.ru/optical-cable/opgw/> (дата обращения: 31.03.2025).
- 2 Кабель ОКГТ-с // Сайт компании «Саранскабель-Оптика». – URL: <https://sarko.ru/okgt-s-cable.html> (дата обращения: 31.03.2025).
- 3 ОКГТ. Оптический кабель, встроенный в грозозащитный трос // Сайт компании «ЛЭП-Инжиниринг». – URL: <https://energoteh-ek.ru/catalog/grozozashhitnyij-tros> (дата обращения: 31.03.2025).
- 4 **Капкаев, А. А.** Интеграция экранирующего провода в системе тягового электроснабжения с волоконно-оптической линией связи : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук 05.22.07 / Капкаев Андрей Андреевич. – Ростов-на-Дону, 2017. – 208 с.
- 5 **Осипова, А. И.** Особенности организации альтернативной схемы заземления опор контактной сети постоянного тока / А. И. Осипова, В. А. Осипов // Сборник научных трудов V Международной научно-технической конференции «Энергетика транспорта. Актуальные проблемы и задачи». – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2021. – С. 45–47. – ISBN 978-5-907295-50-6.
- 6 **Осипова, А. И.** Моделирование и расчёт токов короткого замыкания в системе постоянного тока с дополнительным тросом группового заземления опор контактной сети / А. И. Осипова, В. А. Осипов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 4. – С. 127–133. – ISSN 0201-727X.
- 7 **Жарков, Ю. И.** Проблемы организации защиты тяговой сети постоянного тока от коротких замыканий при повышенных токовых нагрузках / Ю. И. Жарков, Е. П. Фигурнов // Электрификация транспорта. – 2014. – № 7. – С. 28–31. – ISSN 2307-4221.
- 8 Параметры совместных схем замещения систем внешнего и тягового электроснабжения при коротком замыкании в контактной сети / Е. П. Фигурнов, Ю. И. Жарков, Л. А. Герман [и др.] // Электрические станции. – 2021. – № 7 (1080). – С. 20–26. – ISSN 0201-4564.

References

- 1 OPGW cable from “Incab” – a ground wire with optical fiber // “Incob” company website. – URL: <https://incab.ru/optical-cable/opgw/> (date of access: 03/31/2025).
- 2 OPGW-s cable // “Saranskabel-Optika” company website. – URL: <https://sarko.ru/okgt-s-cable.html> (date of access: 03/31/2025).
- 3 OPGW. Optical cable embedded into a ground wire // “LEP-Engineering” company website. – URL: <https://energoteh-ek.ru/catalog/grozozashhitnyij-tros> (date of access: 03/31/2025).
- 4 **Капкаев, А. А.** Integration of the shielding wire in the system of the traction power supply with the fiber-optic communication line : dissertation for the degree of candidate of technical sciences 05.22.07 / Kapkaev Andrey Andreevich. – Rostov-on-Don, 2017. – 208 p.
- 5 **Osipova, A. I.** Peculiarities of the organization of the alternative grounding scheme of the DC contact network supports / A. I. Osipova, V. A. Osipov // Collection of scientific papers of the V International scientific and technical conference “Transport Energy. Actual problems and tasks”. – Rostov-on-Don : RSTU, 2021. – P. 45–47. – ISBN 978-5-907295-50-6.
- 6 **Osipova, A. I.** Modeling and calculation of short-circuit currents in the DC system with an additional cable of the group grounding of the contact network supports / A. I. Osipova, V. A. Osipov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2019. – No. 4. – P. 127–133. – ISSN 0201-727X.
- 7 **Zharkov, Yu. I.** Problems of protection organization of the DC traction network from short circuits at the increased current loads / Yu. I. Zharkov, E. P. Figurnov // Electrification of transport. – 2014. – No. 7. – P. 28–31. – ISSN 2307-4221.
- 8 Parameters of the joint substitution schemes of the external and traction power supply systems at a short circuit in the contact network / E. P. Figurnov, Yu. I. Zharkov, L. A. German [et al.] // Electrical stations. – 2021. – No. 7 (1080). – P. 20–26. – ISSN 0201-4564.

9 **Дынькин, Б. Е.** Анализ отказов релейных защит путем статистического моделирования их работы / Б. Е. Дынькин // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Энергетика транспорта. Актуальные проблемы и задачи» / Ростовский государственный университет путей сообщения. – Ростов-на-Дону, 2019. – С. 24–28. – ISBN 978-5-88814-992-8.

10 СТО «Руководство по расчёту режимов плавки гололеда на грозозащитном тросе со встроенным оптическим кабелем (ОКГТ) и применению распределенного контроля температуры ОКГТ в режиме плавки»: утверждено и введено в действие приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 18.05.2012 № 264. – URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1743404135&tld=ru&lang=ru&name=s3o8hishtn0zeebuhtyglpbxwe3vmfwr.pdf&> (дата обращения: 31.03.25).

11 СТО 56947007-33.180.10.173-2014. Методические указания по расчету термического воздействия токов короткого замыкания и термической устойчивости грозозащитных тросов и оптических кабелей, встроенных в грозозащитный трос, подвешиваемых на воздушных линиях электропередачи. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», утвержденные приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 21.05.2014 г. № 237. – URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1743404605&tld=ru&lang=ru&name> (дата обращения: 31.03.25).

12 Инструкция по технической эксплуатации волоконно-оптических линий передачи ОАО «РЖД»: утверждена Первым вице-президентом ОАО «РЖД» В. Н. Морозовым 18.12.2013. – URL: <http://scbist.com/scb/uploaded/docs/2013/dekabr-2013/5051-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-18-12-2013-n-2792r.htm> (дата обращения: 31.03.25).

13 Снижение влияния электрического поля высоковольтных линий электропередачи на волоконно-оптические линии связи / Е. А. Стороженко, Д. Е. Стороженко, А. С. Кляморов, К. С. Гукасов // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2 (25). – С. 56. – eISSN 2073-8633.

14 Влияние переменных электромагнитных полей высокой напряженности на интенсивность деградиационных процессов в структуре волоконно-оптических кабелей / А. С. Бочев, Г. Е. Соловьев, В. А. Осипов, О. В. Невретдинова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2009. – № 2 (34). – С. 94–99. – ISSN 0201-727X.

15 **Лариков, Л. Н.** Тепловые свойства металлов и сплавов: справочник / Л. Н. Лариков, Ю. Ф. Юрченко – Киев: Наукова думка, 1985. – 437 с.

9 **Dynkin, B. E.** Analysis of relay protection failures by statistical modeling of their operation / B. E. Dynkin // Collection of scientific papers of the International scientific and practical conference “Energy of Transport. Actual problems and tasks” / Rostov State Transport University. – Rostov-on-Don, 2019. – P. 24–28. – ISBN 978-5-88814-992-8.

10 STO "Guide to calculating ice melting modes on a ground wire with a built-in optical cable (OPGC) and the use of distributed temperature control of the OPGC in the melting mode": approved and put into effect by order of JSC "FGC UES" dated 18.05.2012 No. 264. – URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1743404135&tld=ru&lang=ru&name=s3o8hishtn0zeebuhtyglpbxwe3vmfwr.pdf&> (date of access: 03/31/2025).

11 STO 56947007-33.180.10.173-2014. Methodological guidelines for calculating the thermal effect of short-circuit currents and thermal stability of lightning protection cables and optical cables embedded into the lightning protection cable suspended on overhead power lines. Standard of the organization of JSC "FGC UES", approved by the order of JSC "FGC UES" from 21.05.2014 No. 237. – URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1743404605&tld=ru&lang=ru&name> (date of access: 03/31/2025).

12 Instruction for the technical operation of fiber-optic transmission lines of JSC "Russian Railways": approved by the First Vice President of JSC "Russian Railways" V. N. Morozov 18.12.2013. – URL: <http://scbist.com/scb/uploaded/docs/2013/dekabr-2013/5051-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-18-12-2013-n-2792r.htm>. (date of access: 03/31/2025).

13 Reducing the influence of the electric field of high-voltage power lines on fiber-optic communication lines / E. A. Storozhenko, D. E. Storozhenko, A. S. Klyamorov, K. S. Gukasov // Engineering Journal of Don. – 2013. – No. 2 (25). – P. 56. – eISSN 2073-8633.

14 The influence of alternating electromagnetic fields of high intensity on the intensity of degradation processes in the structure of fiber-optic cables / A. S. Bochev, G. E. Soloviev, V. A. Osipov, O. V. Nevretdinova // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2009. – No. 2 (34). – P. 94–99. – ISSN 0201-727X.

15 **Larikov, L. N.** Thermal properties of metals and alloys: a reference book / L. N. Larikov, Yu. F. Yurchenko – Kiev: Naukova Dumka, 1985. – 437 p.

A. I. Osipova

**MODELING OF THE HEATING PROCESS OF THE FIBER-OPTIC
CABLE EMBEDDED INTO LIGHTNING PROTECTION CABLE
BY SHORT-CIRCUIT CURRENTS**

Abstract. The paper considers an approach to determining the possibility of integrating a fiber-optic cable with a conductive sheath into a group grounding system as a means of increasing the reliability and safety of DC railroad operation. The criterion for decision making is the heating temperature of the cable elements, determined depending on the magnitude of the flowing current and the time of relay protection operation. As a tool for calculating the temperature of all cable elements, including the optical module with optical fibers, a program using the finite element method as the main algorithm is proposed. The initial data for performing the modeling are the current in the cable, data on the cable design, as well as the technical characteristics of the cable elements.

Keywords: short-circuit currents, fiber-optic cable, group grounding of supports, thermal degradation, thermal pulse.

For citation: Osipova, A. I. Modeling of the heating process of the fiber-optic cable embedded into the lightning protection cable by short-circuit currents / A. I. Osipova // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2025. – No. 1. – P. 159–166. – DOI 10.46973/0201–727X_2025_1_159.

Сведения об авторах

Осипова Анна Ивановна

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Автоматизированные системы
электрообеспечения»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: nyshka79@mail.ru

Information about the authors

Osipova Anna Ivanovna

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair “Automated Systems of Power
Supply”,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: nyshka79@mail.ru