БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Краткое сообщение

УДК 614.841; 621.315.1

DOI: <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-4-363-368>

Оценка пожарной опасности короткого замыкания для решения задач расследования и экспертизы пожаров от аварийных режимов в воздушных линиях электропередачи

Юлия Сергеевна Козлова¹

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет),
г. Челябинск, Россия
yulia-3012@mail.ru

Аннотация. Аварийные режимы (в основном, короткие замыкания) в электрических сетях и оборудовании являются главной технической причиной пожаров. Однако на практике не всегда представляется возможным доказать причастность того или иного режима эксплуатации к возникновению пожара. Пожарная опасность объекта обусловлена наличием в рассматриваемом объеме пространства трех составляющих: горючей нагрузки, окислителя и источника зажигания. Так как воздушные линии электропередачи эксплуатируются в открытом пространстве, то окислитель присутствует постоянно. Наличие горючей среды подтверждается фактом самого пожара, и лишь вопрос об источнике зажигания требует решения. Цель – разработка алгоритма для оценки пожарной опасности коротких замыканий в воздушных линиях электропередачи напряжением до 1000 В. Исследование проводилось с использованием научного анализа, физического эксперимента и моделирования. Появление источника зажигания обусловлено появлением энергетического источника с параметрами, достаточными для воспламенения горючей среды. Вероятность появления источника зажигания при коротком замыкании проводов ВЛ (искры и частицы расплавленного металла) напрямую зависит от вероятности возникновения самого замыкания ($Q_i(v_1)$), вероятности отсутствия или отказа аппаратов защиты ($Q_i(v_2)$), а также вероятности того, что значение электрического тока при возникшем замыкании лежит в диапазоне пожароопасных значений ($Q_i(z)$). Значения первых двух составляющих определяют на основании статистических данных, а также с учетом основных положений теории надежности. Третья составляющая вычисляется на основе результатов эксперимента. Проведенные экспериментальные исследования позволили установить диапазоны пожароопасных значений для неизолированных алюминиевых проводов различного сечения, тем самым обеспечив возможность расчета составляющей $Q_i(z)$. На основе полученных данных, а также с использованием информации о характере изменения токов короткого замыкания и характеристик быстрого действия аппаратов защиты в зависимости от длины линии, предложен алгоритм оценки пожарной опасности короткого замыкания. Представленные результаты позволяют быстро оценить пожароопасность коротких замыканий на различных участках электрической сети, выполненной воздушными линиями электропередачи, и установить причастность искр, образующихся в результате короткого замыкания, к пожару.

Ключевые слова: пожарная опасность, короткое замыкание, воздушные линии электропередачи, расследование и экспертиза пожаров

Для цитирования: Козлова Ю. С. Оценка пожарной опасности короткого замыкания для решения задач расследования и экспертизы пожаров от аварийных режимов в воздушных линиях электропередачи // XXI век. Техносферная безопасность. 2021. Т. 6. № 4. С. 363–368. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-4-363-368>.

HUMAN LIFE SAFETY

Brief communication

Short circuit fire risk assessment in investigating and examining fires caused by emergency modes in overhead transmission lines

Yuliya S. Kozlova

South-Ural State University (national research university),
Chelyabinsk, Russia
yulia-3012@mail.ru

Abstract. Emergency modes (short circuits) in electric power system and equipment are the main technical cause of fires. However, it is not always possible to prove the involvement of a particular operating mode in a fire. The fire hazard can be due to three components: a fuel load, an oxidizer and an ignition source. Since overhead transmission lines are used in an open space, they are oxidized. The presence of a fuel load is confirmed by a fire. The source of ignition should be identified. The **aim** of the study is to develop an algorithm for assessing the fire hazard for short circuits in overhead transmission lines with 1000 V. The study was conducted using scientific analysis, physical experiment and simulation. The ignition source is due to the appearance of an energy source with parameters sufficient to ignite a fuel load. The probability of ignition in overhead line wires depends on the probability of occurrence of the short circuit itself ($Q_i(v_1)$), the probability of failure of protection devices ($Q_i(v_2)$), and the probability that the electric current value in the event of a fault is in the range of fire hazard values ($Q_i(z)$). The values of the first two components are determined on the basis of statistical data, taking into account the theory of reliability. The third component is based on the experiment results. The experimental studies made it possible to establish the ranges of fire hazard values for uninsulated aluminum wires of various cross-sections, thereby providing the possibility of calculating ($Q_i(z)$). Using the data obtained and information about the nature of changes in short-circuit currents and performance characteristics of protection devices, depending on the line length, an algorithm for assessing the fire hazard for a short circuit was developed. The results make it possible to assess the fire hazard for short circuits in various sections of the electrical network, made by overhead transmission lines, and to establish the involvement of sparks generated by short circuits in a fire.

Keywords: fire risk, short circuit, overhead transmission lines, fires expertise

For citation: Kozlova Yu. S. Short circuit fire risk assessment in investigating and examining fires caused by emergency modes in overhead transmission lines. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' = XXI century. Technosphere Safety*. 2021;6(4):363-368. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-4-363-368>.

ВВЕДЕНИЕ

Пожары по электротехническим причинам составляют ежегодно 25–35% от общего числа пожаров¹ [1–3]. Из них пожары при аварийных режимах на воздушных линиях электропередачи (ВЛЭП) – 27%.

На сегодняшний день многие аварийные ситуации на ВЛЭП (например, схлестывания проводов, послужившие причиной возгорания в охранной зоне) не находят отражения в статистических

данных [4–6]. И зачастую владельцам объектов, на которых произошел пожар, необходимо предоставить доказательства, подтверждающие связь той или иной аварийной ситуации с возникшим пожаром.

Известно, что пожарная опасность объекта обусловлена наличием в рассматриваемом объеме пространства трех составляющих: горючей нагрузки, окислителя и источника зажигания [7–9]. В общем случае появление i -го источника зажигания в анализируемом элементе объекта обусловлено появлением в нем i -го энергетического источника с пара-

¹Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: стат. сб. / Под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2019. 125 с.

метрами, достаточными для воспламенения горючей среды. Вероятность $(Q_i(\text{ИЗ}_n / \text{ГС}_k))$ появления i -го источника зажигания вычисляют по формуле²:

$$Q_i(\text{ИЗ}_n / \text{ГС}_k) = Q_i(\text{ТИ}_n) \cdot Q_i(B_n^k), \quad (1)$$

где $Q_i(\text{ТИ}_n)$ – вероятность появления в i -м элементе объекта в течение года n -го теплового источника; $Q_i(B_n^k)$ – условная вероятность того, что воспламеняющая способность появившегося в i -м элементе объекта n -го теплового источника достаточна для зажигания горючей среды, находящейся в этом элементе.

Так как ВЛЭП эксплуатируются в открытом пространстве, то окислитель присутствует постоянно. Наличие горючей среды подтверждается фактом самого пожара. И лишь вопрос об источнике зажигания требует решения.

Причастность короткого замыкания (КЗ, наиболее частый аварийный режим) на ВЛЭП к пожару следует доказать.

Применительно к тепловому источнику, образующемуся при коротком замыкании проводов ВЛЭП (искры и частицы расплавленного металла), вероятность его появления можно выразить как:

$$Q_i(e) = Q_i(v_1) \cdot Q_i(v_2) \cdot Q_i(z), \quad (2)$$

где $Q_i(v_1)$ – вероятность возникновения короткого замыкания проводов ВЛЭП в i -м элементе объекта в течение года; $Q_i(v_2)$ – вероятность того, что значение электрического тока в i -м элементе объекта лежит в диапазоне пожароопасных значений; $Q_i(z)$ – вероятность отсут-

ствия или отказа аппаратов защиты от короткого замыкания в течение года.

Вероятность $Q_i(v_1)$ короткого замыкания вычисляют на основании статистических данных. Вероятность $Q_i(z)$ определяют также с учетом данных статистики и основных положений теории надежности. Вероятность $Q_i(v_2)$ нахождения электрического тока в диапазоне пожароопасных значений вычисляют по формуле

$$Q_i(v_2) = \frac{I_2 - I_1}{I_{\text{КЗ}} - I_0}, \quad (3)$$

где $I_{\text{КЗ}}$ – максимальное установившееся значение тока короткого замыкания в проводе, А; I_0 – длительно допустимый ток для провода, А; I_1 – минимальное пожароопасное значение тока, А; I_2 – максимальное пожароопасное значение тока, А.

Значения токов I_1 и I_2 определяют экспериментально.

Проведенные экспериментальные исследования [10–12] позволили установить диапазоны пожароопасных значений для неизолированных алюминиевых проводов различного сечения (сети до 1000 В):

$$I_{\text{п.о.}} = \begin{cases} 120 - 180 \text{ А, } S_d = 25 \text{ мм}^2; \\ 130 - 190 \text{ А, } S_d = 35 \text{ мм}^2; \\ 160 - 220 \text{ А, } S_d = 50 \text{ мм}^2; \\ 180 - 250 \text{ А, } S_d = 70 \text{ мм}^2. \end{cases} \quad (4)$$

Используя полученные данные, становится возможным определение вероятности возникновения источника зажигания при коротком замыкании.

Оценка пожарной опасности ВЛЭП до 1000 В, связанной с возможностью образования источника зажигания при КЗ, мо-

²ГОСТ 12.1.004-91*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1991. 76 с.

жет осуществляться также с использованием следующего алгоритма (рисунок).

1. Строим график изменения расчетной величины тока КЗ по длине ВЛЭП ($I_{\text{КЗ}}=f(L)$).

2. По характеристикам аппарата защиты строим зависимость времени срабатывания от длины ВЛЭП ($t_{\text{с.ф}} = f(L)$).

3. Определяем зону защиты ($L_{\text{заш}}$) аппарата, в которой обеспечивается пожарная безопасность (исключено обра-

зование источника зажигания).

4. Определяем граничные значения токов КЗ ($I_{\text{нзв}}$ и $I_{\text{нзн}}$) в незащищенной зоне ($L_{\text{незаш}}$).

5. Значения токов I_i в незащищенной зоне ($I_{\text{нзн}} \leq I_i \leq I_{\text{нзв}}$) сравниваем с величиной минимального пожароопасного значения тока $I_{\text{п.о.}}$. В случаях, когда $I_i \geq I_{\text{п.о.}}$, возможно образование источников зажигания.

Алгоритм оценки пожарной опасности воздушных линий электропередачи

The algorithm for assessing the fire hazard of overhead power lines

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные результаты позволяют быстро оценить пожароопасность коротких замыканий на различных участ-

ках электрической сети, выполненной ВЛЭП, и установить причастность искр, образующихся в результате короткого замыкания, к пожару.

Список источников

1. Козлова Ю.С. Основные направления повышения пожарной безопасности воздушных линий электропередачи напряжением 0,4 кВ // Актуальные вопросы агроинженерных наук в сфере энергетики агропромышленного комплекса: теория и практика: материалы национальной науч-

ной конференции Института агроинженерии. Челябинск: Южно-Уральский ГАУ, 2020. С. 88–93.

2. Семенцова Ю.С. Анализ причин пожаров в электроустановках // Электробезопасность. 2015. № 3. С. 53–58.

3. Козлова Ю. С. Применение теории планиро-

вания эксперимента для решения задач обеспечения пожарной безопасности воздушных линий электропередачи // Вестник науки и образования. 2018. № 17-1 (53). С. 32–34.

4. Александров А.А. Теоретические основы зажигания твердых горючих материалов частицами металлов // Пожарная профилактика в электроустановках. 1979. № 1. С. 35–42.

5. Кабашов В.Ю. Исследование условий возможного схлестывания проводов сельских ВЛ 6-10 кВ // Электротехнические комплексы и системы. 2013. № 2. С. 9–12.

6. Смелков Г.И. О воспламеняющей способности частиц металла при коротких замыканиях // Проблемы горения и тушения пожаров: материалы IV Всесоюзной научно-практической конференции. М.: ВНИИПО МВД СССР, 1975. С. 208–211.

7. Вогман Л.П. Пожарная опасность процесса тления горючих органических веществ и материалов // Пожарная безопасность. 2018 г. № 3. С. 39–48.

8. Жилин О.И. Пожарная безопасность электроустановок // Энергобезопасность и энергосбере-

жение. 2007. № 4. С. 19–31.

9. Забиров А.С. Пожарная опасность коротких замыканий. М.: Стройиздат, 1987. 103 с.

10. Зыков В.И. Определение уровня пожарной опасности воздушных линий электропередачи напряжением до 1000 В // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2021. № 1. С. 34–39.

11. Козлова Ю.С. Экспериментальная установка для исследования пожарной опасности процесса схлестывания проводов воздушных линий электропередачи напряжением 0,4 кВ // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи. Секция: Безопасность в чрезвычайных ситуациях: материалы IV Всероссийской студенческой конференции (с международным участием) (г. Челябинск, 2017 г.). Челябинск: ЮУрГУ, 2017. С. 221–223.

12. Kozlova Yu. S. Assessment of Fire Hazard Level for Overhead Power Lines of Voltage up to 1000 V // Test Engineering and Management. 2020. Vol. 83. P. 25705–25712.

References

1. Kozlova Yu.S. The main directions of increasing the fire safety of overhead power transmission lines with a voltage of 0.4 kV. *Aktual'nyye voprosy agroinzhenernykh nauk v sfere energetiki agropromyshlennogo kompleksa: teoriya i praktika: materialy natsional'noy nauchnoy konferentsii Instituta agroinzhenerii = Topical issues of agroengineering sciences in the field of energy of the agro-industrial complex: theory and practice: materials of the national scientific conference of the Institute of Agroengineering*. Chelyabinsk: Yuzhno-Uralsky GAU; 2020. p. 88-93. (In Russ.).

2. Sementsova Yu.S. Analysis of the causes of fires in electrical installations. *Elektrobezopasnost'*. 2015;3:53-58. (In Russ.).

3. Kozlova Yu. S. Application of the theory of experiment planning for solving problems of ensuring fire safety of overhead power lines. *Vestnik nauki i obrazovaniya*. 2018;17-1:32-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.20861/2312-8089-2018-53-003>.

4. Alexandrov A. A. Theoretical foundations of ignition of solid combustible materials with metal particles. *Pozharnaya profilaktika v elektroustanovkakh*. 1979;1:35-42. (In Russ.).

5. Kabashov V.Yu. Investigation of the conditions for a possible collision of wires in rural overhead lines 6-10 Kv. *Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy*. 2013. No. 2. P. 9–12. (In Russ.).

6. Smelkov G. I. On the flammability of metal particles during short circuits. *Problemy goreniya i tusheniya pozharov: materialy IV Vsesoyuznoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Problems of combustion and extinguishing fires: materials of the*

IV All-Union Scientific and Practical Conference. Moscow: VNIPO Ministry of Internal Affairs of the USSR; 1975. p. 208-211. (In Russ.).

7. Vogman L. P. Fire hazard of the smoldering process of combustible organic substances and materials // *Pozharnaya bezopasnost' = Fire safety*. 2018;3:39-48. (In Russ.).

8. Zhilin O.I. Fire safety of electrical installations. *Energobezopasnost' i energosberezhenie*. 2007;4:19-31. (In Russ.).

9. Zabirov, A.C. Fire hazard of short circuits. Moscow: Stroyizdat; 1987. 103 p. (In Russ.).

10. Zykov V.I. Determination of the level of fire hazard of overhead power lines with voltage up to 1000 V. *Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya*. 2021;1:34-39. (In Russ.).

11. Kozlova Yu.S. Experimental setup for researching the fire hazard of the process of collapsing wires of overhead power lines with a voltage of 0.4 kV. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti glazami molodezhi. Sektsiya: Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh: materialy IV Vserossiiskoi studentcheskoi konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem) = Safety of life through the eyes of young people: materials of the IV All-Russian student conference (with international participation). Section: Safety in emergencies*. Chelyabinsk, 2017. Chelyabinsk: South Ural State University; 2017. p. 221-223. (In Russ.).

12. Kozlova Yu. S. Assessment of Fire Hazard Level for Overhead Power Lines of Voltage up to 1000 V. *Test Engineering and Management*. 2020;83:25705-25712.

Сведения об авторе

Ю. С. Козлова,
аспирант,
Южно-Уральский государственный
университет (национальный
исследовательский университет),
454080, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76, Россия

Вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу,
на основании полученных результатов провел
обобщение, подготовил рукопись к печати.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта
интересов.

*Автор прочитал и одобрил
окончательный вариант рукописи.*

*Поступила в редакцию 13.10.2021.
Одобрена после рецензирования 17.11.2021.
Принята к публикации 30.11.2021.*

Information about the author

Yu. S. Kozlova
Postgraduate Student,
South-Ural State University
(national research university)
76 Lenin Ave., 454080 Chelyabinsk, Russia

Contribution of the author

The author carried out research work, based on
the results obtained, she generalized, prepared
the manuscript for publication.

Conflict of interests

The author declare no conflict of interests.

*Author have read and approved the final
manuscript.*

*The article was submitted 13.10.2021.
Approved after reviewing 17.11.2021.
Accepted for publication 30.11.2021.*