

БЕЗОПАСНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ, ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОИЗВОДСТВ

УДК 621.315.2.064.1:614.84

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ РАСКАЛЕННЫХ ЧАСТИЦ АЛЮМИНИЕВЫХ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В ЭЛЕКТРОПРОВОДКАХ

Згарбул Андрей Викторович, инженер,
ассистент кафедры электроснабжения промышленных предприятий и городов;
zgarbul.andrey@gmail.com;

Бершадский Илья Адольфович, доктор техн. наук, доц.,
профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий и городов;
ibersh@rambler.ru;

Ковалёв Александр Петрович, доктор техн. наук, проф.,
профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий и городов;
kovaliov.a.p@gmail.com;

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»;
283012, г. Донецк, ул. Словацкая, 53/22
Тел.: +38 (066) 895-12-76

Почти половина пожаров по электрическим причинам возникает в кабелях и электропроводках. Одной из составляющих пожарной опасности является появление расплавленных частиц проводников, которые могут поджечь легковоспламеняющиеся материалы. Недостатками существующих методик определения пожароопасных параметров тепловых источников являются упрощенный учет времени движения и охлаждения частицы и отсутствие универсального критерия ее воспламеняющей способности, что существенно усложняет развитие методики определения безопасного расстояния нахождения легковоспламеняющегося материала и способов защиты. В статье предложен статистический метод проверки версии возникновения пожара от искр при коротких замыканиях в электропроводках с алюминиевыми жилами и намечены пути дальнейших исследований.

Ключевые слова: электропроводка, пожарная опасность, раскаленная частица, причастность к пожарам, вероятность, безопасное расстояние.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Анализ статистических данных за последние 10 лет показывает, что ежегодно в России происходит около 250 тыс. пожаров, на которых гибнет более 20 тыс. человек и получают травмы более 15 тыс. человек [1; 6]. Из них до 50 тыс. пожаров происходит от электротехнических изделий, что составляет 20-25 % от общего числа пожаров в стране. Такое же соотношение характерно и для многих промышленно развитых стран Европы.

Наиболее пожароопасными электротехническими изделиями являются кабели и электропроводки, т. к. они послужили причинами пожаров более чем в 40 % случаев.

Также следует отметить, что наибольшая пожарная опасность наблюдается на объектах топливно-энергетических комплексов (ТЭК), на которых в производственном процессе используются взрывоопасные вещества и материалы, а также жилые дома, склады, базы, предприятия торговли и общественного питания.

В таблице 1 (см. ниже) приведено распределение пожаров в электроустановках по причинам их возникновения [2].

Среднегодовое распределение пожаров по причинам, связанным с неисправностью или неправильной эксплуатацией электроустановок

Причина пожара	Доля пожаров, %
Короткое замыкание (электропроводка)	68,8 (44,86)
Перегрев электроприборов	20,8
Большое переходное сопротивление	5,5
Перегрузка электроустановок	2,7
Несоблюдение безопасного расстояния от электроустановок до горючих материалов	2,2
Итого	100

Изложение основного материала исследования. Известно, что пожарная опасность электропроводок включает 3 аспекта:

- способность кабельно-проводникового изделия воспламенить изоляцию с последующим возгоранием конструктивных элементов;
- способность изоляции проводки загораться при поджигании от посторонних источников;
- способность образовывать в момент короткого замыкания (КЗ) расплавленные частицы проводниковых материалов, поджигающих расположенные рядом горючие вещества и материалы [1].

В свою очередь можно выделить несколько причин воспламенения изоляции кабельных изделий: перегрев токоведущих жил током КЗ, током перегрузки и утечки, перегрев мест переходных контактов, горение электрической дуги на каком-либо участке цепи из-за возникновения тока КЗ.

Таким образом, можно выделить 2 основных фактора пожароопасного влияния электрического тока:

- 1) повышение температуры токоведущих жил;
- 2) горение в зоне электрической дуги – высокотемпературного источника воспламенения.

Остановимся более детально на аварийных режимах в распределительной сети, представляющих важность с точки зрения выброса металлических частиц различного размера из зоны замыкания проводников. Частицы металла разлетаются на значительные расстояния и могут вызвать возгорание горючего материала вблизи места КЗ.

Причиной образования частиц металлов является «электрический взрыв» жидкой перемычки проводника с дальнейшим механизмом разбрасывания металла, что подтверждается экспериментальными исследованиями [5].

Так, Г.И. Смелков приводит расчетное выражение для определения минимальной длительности КЗ [1], при котором происходит взрыв перемычки с вылетом раскаленных частиц металла из зоны КЗ:

$$\tau_k = \frac{\pi q_n \gamma d_n^2}{2\pi I_k J}, \quad (1)$$

где τ_k – длительность тока КЗ, с;

J – плотность тока при «электрическом взрыве», которая по данным [5] составляет $1..5 \cdot 10^7$ А/см²;

q_n – удельная теплота плавления металла, Дж/кг;

γ – плотность расплавленного металла, кг/м³;

d_n – диаметр перемычки, м;

I_k – ток короткого замыкания, А.

При проведении пожарно-технических, электротехнических экспертиз и исследований нередко возникают вопросы о причастности к воспламенению различных веществ искрами, каплями металла, образовавшимися при КЗ в электроустановках, а также при газосварке, резке металла, плавлении электродов ламп накаливания [4].

Поэтому прогнозирование перемещения и температурной динамики искр является важной задачей по обеспечению пожарной безопасности.

Причастность искр (капель) металла к появлению возгорания не может быть установлена из того факта, что частицы нагреваются до высоких температур (например, наибольшая доля горящих алюминиевых частиц лежит в интервале 2200-2300 °С [1]; начальная температура капли стали при электросварке принимается 2100 °С [1]; можно принять температуру медных частиц, образующихся в зоне КЗ в интервале 2050-2700 °С, хотя более точные данные требуют дальнейших исследований; при резке металла (стали) начальная температура искры составляет 1500 °С [8]).

Это связано с тем, что капли металла имеют малые размеры и массы (полидисперсность от нескольких мкм до десятка мм), поэтому быстро остывают при падении со значительной высоты и не всегда могут привести к возгоранию.

В ГОСТ 12.1.004-91 методика определения пожароопасных параметров тепловых источников основана на допущении о свободном падении искр (капель) в 3-х состояниях: жидком, кристаллизованном и твердом [3].

Время полета искры в раскаленном (жидком) состоянии:

$$\tau_p = \frac{C_p \cdot M_u}{\alpha \cdot S_u} \ln \frac{T_u - T_{o.c.}}{T_{пл} - T_{o.c.}}, \text{ с} \quad (2)$$

Время полета искры, в течение которого происходит ее кристаллизация:

$$\tau_{кр} = \frac{C_{кр} \cdot M_u}{\alpha \cdot S_u (T_{пл} - T_{o.c.})}, \text{ с} \quad (3)$$

где M_u – масса искры (капли), кг;

$C_{кр}$ – удельная теплота кристаллизации металла, Дж/кг ($C_{кр} = 393 \cdot 10^3$ для алюминия);

C_p – удельная теплоемкость расплава металла, Дж/(кг·К) ($C_p = 1090$ для алюминия);

T_u – начальная температура искры, К;

$T_{o.c.}$ – температура окружающей среды, К;

$T_{пл}$ – температура плавления металла, К;

S_u – площадь поверхности искры, m^2 (для шара $S_u = \pi \cdot d^2$);

α – коэффициент теплоотдачи искры, Вт/ $m^2 \cdot K$.

Для определения α находят число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega_u \cdot D_u}{\nu}, \quad (4)$$

где $\omega_u = 0,5 \sqrt{2gh}$ – средняя скорость искры м/с;

h – высота падения искры, м;

D_u – диаметр искры, м;

$\nu = 15,1 \cdot 10^{-6}$ – кинематическая вязкость окружающей среды (воздуха) при 20 °С, m^2/c .

Затем вычисляется критерий Нуссельта:

$$Nu = 0,62 \cdot Re^{0,5}.$$

Коэффициент теплоотдачи металла:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{в}}}{d_{\text{к}}}, \quad \frac{Вт}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (5)$$

где $\lambda_{\text{в}} = 22 \cdot 10^{-3} \frac{Вт}{\text{м} \cdot \text{К}}$ – коэффициент теплопроводности воздуха.

Время падения искры $\tau > (\tau_{\text{п}} + \tau_{\text{кр}})$ сравнивается с $\tau_{\text{п}}$. Если $\tau \leq \tau_{\text{п}}$, то конечная температура искры (капли):

$$T_{\text{кон}} = T_{\text{о.с}} + (T_{\text{и}} - T_{\text{о.с}}) \exp\left(-\frac{\alpha S_{\text{и}}}{C_{\text{п}} \cdot M_{\text{и}}} \cdot \tau\right) \quad (6)$$

Если капля успевает кристаллизироваться, т.е. $\tau > (\tau_{\text{п}} + \tau_{\text{кр}})$, то конечная температура искры (капли) в твердом состоянии:

$$T_{\text{кон}} = T_{\text{о.с}} + (T_{\text{и}} - T_{\text{о.с}}) \exp\left\{-\frac{\alpha S_{\text{и}}}{C_{\text{к}} \cdot M_{\text{и}}} \cdot [\tau - (\tau_{\text{п}} + \tau_{\text{кр}})]\right\}, \quad (7)$$

где $C_{\text{к}}$ – удельная теплоемкость металла, Дж/(кг·К) ($C_{\text{к}} = 903$ для алюминия).

При $\tau_{\text{п}} < \tau \leq (\tau_{\text{п}} + \tau_{\text{кр}})$ конечная температура искры (капли):

$$T_{\text{кон}} = T_{\text{пл}}.$$

Недостаток этой методики состоит в том, что она не учитывает, что при взрывообразном разрушении жидкой перемычки проводникового металла в зоне КЗ образуется ударная волна, а дуговой разряд вызывает газодинамический удар, который приводит к ускорению частиц металла.

Следовательно, расчетное время $\tau_{\text{пол}}$ и средняя скорость полета $\omega_{\text{и}}$ искры должна вычисляться с учетом следующих факторов:

- размер частиц (диаметр) d (0,1-3 мм для алюминия);
- $v_{\text{и}}$ – начальная скорость вылета капли (0,5-10 м/с для алюминия);
- γ – угол, под которым вылетает капля металла (случайная равновероятная величина $\gamma = 2\pi \cdot Z_{\text{с}}$, $Z_{\text{с}}$ – случайное число).

Автор работы «Математическая проверка версии возникновения пожара от искр, образовавшихся в результате проведения огневых работ и аварийных режимов электросети» А.С. Рубис [4] решает задачу в данной постановке упрощенно. Так, время полета определено им без учета силы трения, оказываемой воздухом:

$$\tau_{\text{пол}} = \frac{v_{\text{и}} \cdot \sin \gamma}{g} + \sqrt{\left(\frac{v_{\text{и}} \cdot \sin \gamma}{g}\right)^2 + \frac{2H}{g}}, \quad (8)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – высота, на которой располагается источник разлета искр, м.

Средняя скорость полета капли по модулю:

$$v_{\text{с}} = \frac{1}{\tau_{\text{пол}}} \int_0^{\tau_{\text{пол}}} \sqrt{(v_{\text{и}} \cdot \cos \gamma)^2 + (v_{\text{и}} \cdot \sin \gamma - g\tau)^2} dt. \quad (9)$$

Дальность разлета капли металла:

$$L = v_u \cdot \cos\gamma \cdot \left[\frac{v_u \cdot \sin\gamma}{g} + \sqrt{\left(\frac{v_u \cdot \sin\gamma}{g} \right)^2 + \frac{2H}{g}} \right]. \quad (10)$$

Формулы (8) – (10) дают больше информации о возможности попадания капли металла в очаг пожара, но все равно не в полной мере отражают главные факторы, влияющие на методику определения безопасной зоны удаления горючих материалов от электропроводки и причастности к пожарам частиц металлов при КЗ.

Для создания более совершенной методики определения опасности образования электрических искр при коротком замыкании электропроводки, электросварке и при плавлении электродов электрических ламп накаливания общего назначения принимаем допущения:

1) размеры частиц распределены в соответствии с экспериментально определенной функцией вида (для алюминия):

$$D_f(d) = 12,8 \cdot d^{0,8} \cdot \exp(-3,8 \cdot d^{0,9}). \quad (11)$$

2) начальные скорости вылета капли металла распределены в соответствии с экспериментально определенной функцией вида (для алюминия):

$$V_f(v) = 0,2289 \cdot v^2 \cdot \exp(-0,728 \cdot v^{1,05}). \quad (12)$$

3) при каждом КЗ образуется 1000 частиц, а число опытов КЗ принимаем равным 100 для усреднения результатов.

4) расчет параметров частиц металла при разлете проводится, исходя из допущения, что частица в полете принимает форму шара.

5) динамика движения каждой частицы металла, разлетающейся из зоны КЗ описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} m \frac{dv_x}{dt} = -(\alpha v + \beta v^2) \frac{v_x}{v}; & \ddot{x} = -\left(\frac{\alpha}{m} v + \frac{\beta}{m} v^2 \right) \frac{v_x}{v} = -\frac{1}{m} (\alpha + \beta v) v_x; \\ m \frac{dv_y}{dt} = -mg - (\alpha v + \beta v^2) \frac{v_y}{v}; & \ddot{y} = -g - \left(\frac{\alpha}{m} v + \frac{\beta}{m} v^2 \right) \frac{v_y}{v} = -g - \frac{1}{m} (\alpha + \beta v) v_y; \end{cases} \quad (13)$$

Начальные условия $x(0) = 0$, $y(0) = H$, $\dot{x}(0) = v_u \cdot \cos\gamma$, $\dot{y}(0) = v_u \cdot \sin\gamma$.

Положим, что $y(1) = x$, $y(2) = v_x$, $y(3) = y$, $y(4) = v_y$.

Система уравнений (13) примет вид:

$$\begin{cases} y'(1) = v_x; \\ y'(2) = -(k_1 + k_2 v) \cdot y(2); \\ y'(3) = v_y; \\ y'(4) = -(k_1 + k_2 v) \cdot y(4), \end{cases}$$

где m – масса частицы;

v_x , v_y – составляющие скорости по осям координат.

$$k_1 = \frac{\alpha}{m}, \quad k_2 = \frac{\beta}{m}.$$

Коэффициенты сопротивления среды движению частиц:

$$\alpha = 3\pi \cdot \mu \cdot d, \quad \beta = C_x \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \rho / 8,$$

где $C_x = 0,47$ – коэффициент сопротивления формы для шарообразного тела;

$\mu = 1,85 \cdot 10^{-5}$ – коэффициент динамической вязкости воздуха при 25 °С, $H \cdot c / m^2$;

$\rho = 1,184$ – коэффициент динамической вязкости воздуха при 25 °С, $кг / м^3$.

В качестве критерия опасности воспламенения горючих материалов принимаем время горения частиц алюминия, полученных из экспериментальной зависимости [1]:

$$\tau_{зоп} = 0,67 \frac{d^{1,55}}{a_{\kappa}^{0,9}} \quad (14)$$

где d – диаметр частицы, мм;

a_{κ} – параметр, характеризующий состав среды, % (для воздуха $a_{\kappa} = 21$).

Для определения момента времени, при котором координата y обращается в ноль при ее убывании, используется обработчик событий при решении в Matlab 2015 с помощью функции ode23 [7].

Структурная схема программы для расчета зоны поражения горючих алюминиевых частиц при КЗ приведена на рис. 3, а.

Моделирование случайных значений диаметра частицы d и ее начальной скорости v проведено с использованием метода Неймана (рис. 3, б).

Метод Неймана является методом, позволяющим получить значения случайной величины в соответствии с заданным законом распределения $f(x)$ на интервале (a, b) .

Метод Неймана состоит в следующем (рис. 1):

1) с помощью датчика случайных чисел получают пару чисел x_1 и x_2 , распределенных равномерно на интервале $(0, 1)$.

2) находится максимум теоретической кривой функции распределения f_{max} .

3) формируются преобразованные пары чисел по формулам:

$$\begin{cases} x_1^* = a + (b - a) \cdot x_1 \\ x_2^* = f_{max} \cdot x_2 \end{cases} \quad (15)$$

4) проверяется условие $x_2^* \leq f(x_1^*)$. В случае его выполнения x_1^* принимаем в качестве искомой случайной величины. В противном случае возвращаемся к шагу 1.

В качестве угла вылета частицы γ принимаем равномерно распределенное случайное число в интервале $(-\pi/2, \pi/2)$.

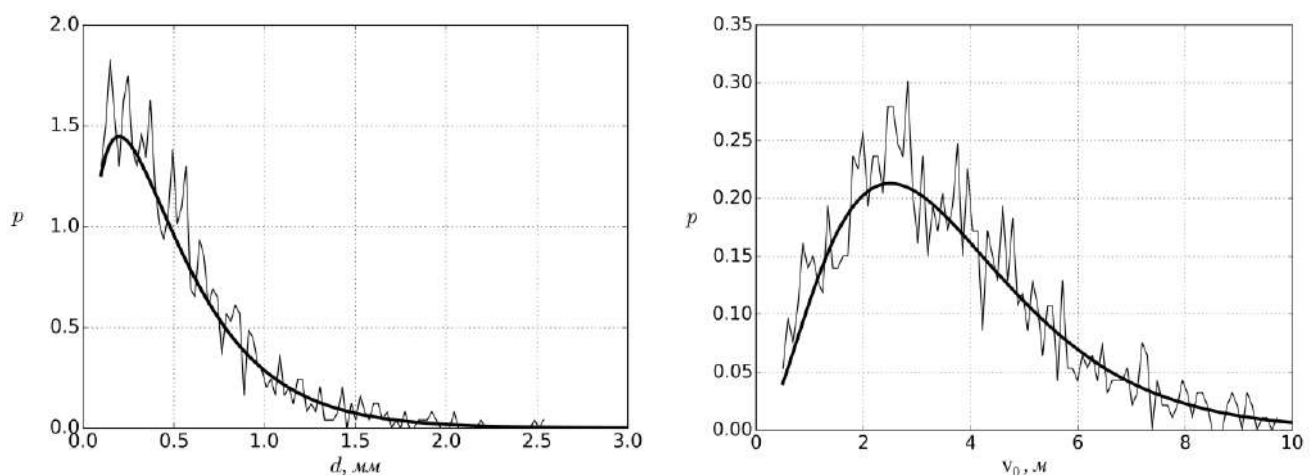


Рис. 1. Кривые распределения вероятностей для диаметра и скорости частиц

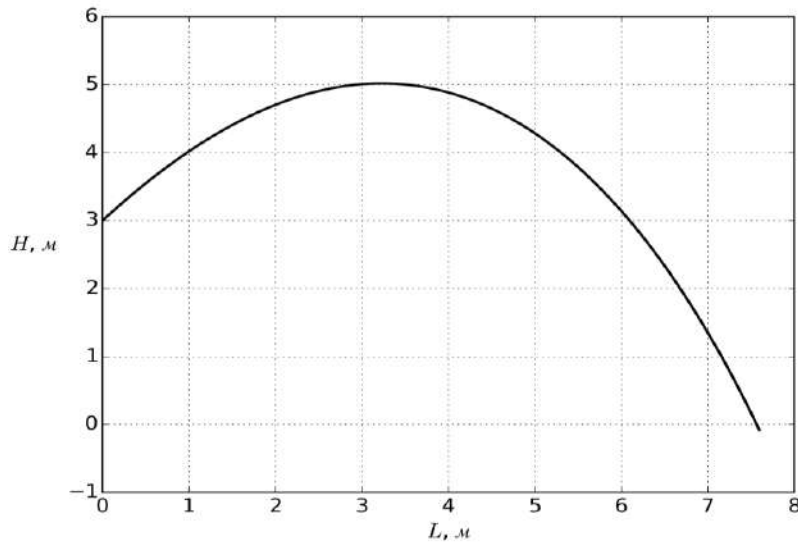
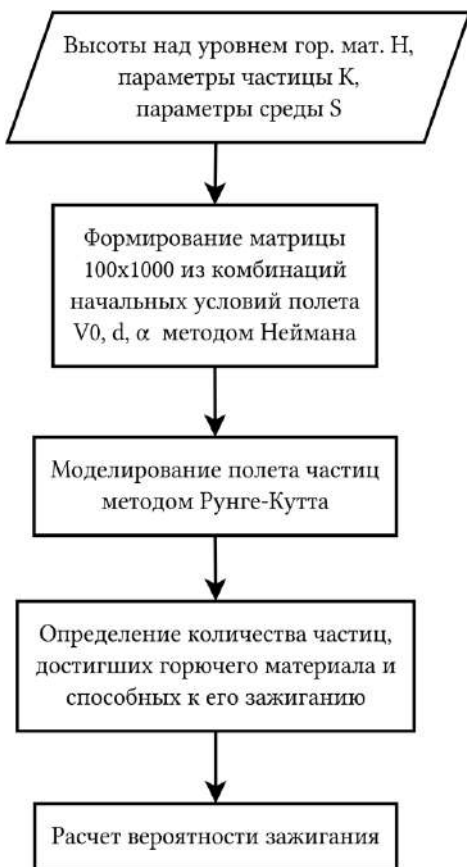
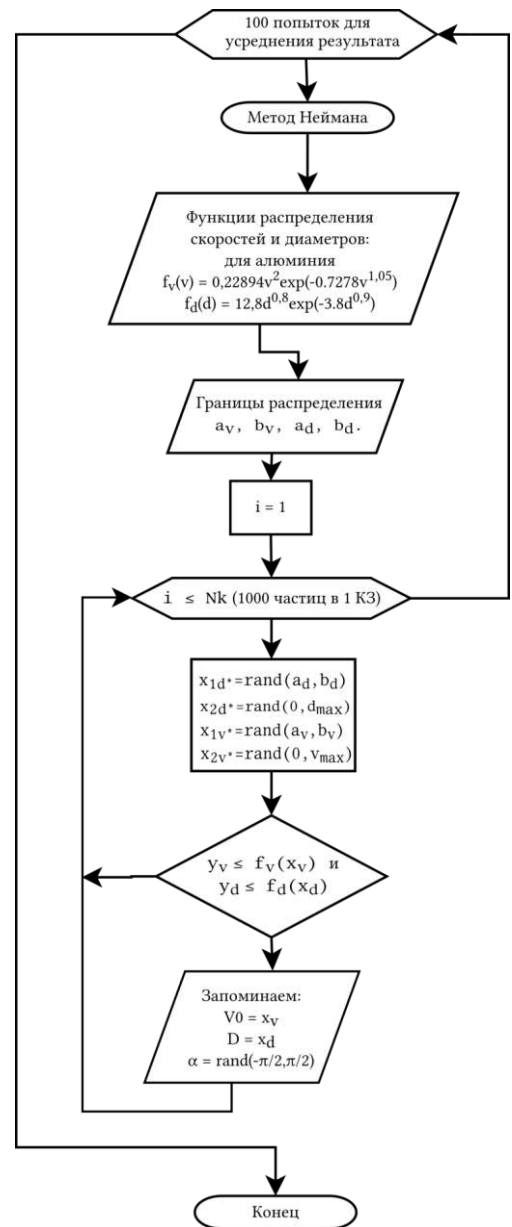


Рис. 2. Пример траектории полета капли металла



а)



б)

Рис. 3. Структурные схемы: а) общий алгоритм расчетов; б) метод Неймана

Высота провода над горючим материалом, м	L, м												
	0 - 2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5
0,1	1	0,9992	0,9944	0,9759	0,9312	0,8537	0,752	0,6491	0,5052	0,3895	0,2977	0,2134	0,1393
1	1	1	1	0,9996	0,9971	0,9859	0,9561	0,8952	0,8043	0,6878	0,567	0,4364	0,3275
2	1	1	1	1	0,9999	0,9993	0,9957	0,9818	0,9479	0,8798	0,8076	0,704	0,5922
3	1	1	1	1	1	0,9999	0,9994	0,9963	0,986	0,9614	0,9134	0,8477	0,7561
4	1	1	1	1	1	1	0,9998	0,9989	0,9955	0,986	0,9626	0,9237	0,8492
5	1	1	1	1	1	1	0,9999	0,9995	0,9978	0,993	0,9799	0,954	0,9095
6	1	1	1	1	1	1	0,9999	0,9997	0,9986	0,995	0,9866	0,9707	0,938
7	1	1	1	1	1	1	0,9999	0,9997	0,9988	0,9962	0,9893	0,976	0,9535
8	1	1	1	1	1	1	0,9999	0,9996	0,9986	0,9961	0,9903	0,978	0,9555
9	1	1	1	1	1	1	0,9998	0,9995	0,9983	0,9955	0,9893	0,9779	0,9583
10	1	1	1	1	1	0,9999	0,9998	0,9992	0,998	0,9948	0,9894	0,9787	0,96
L, м													
Высота провода над горючим материалом, м	5,25	5,5	5,75	6	6,25	6,5	6,75	7	7,25	7,5	7,75	8	8,25
0,1	0,083	0,0424	0,0296	0,01	0,0066	0,0066	0,0033	0,0033	0	0	0	0	0
1	0,2417	0,1894	0,1072	0,0614	0,0328	0,0231	0,01	0,0066	0,0033	0,0033	0	0	0
2	0,4728	0,3603	0,2811	0,1975	0,119	0,08	0,0392	0,0263	0,0132	0,01	0,0033	0,0033	0
3	0,6583	0,5433	0,4458	0,3603	0,2763	0,1786	0,1248	0,083	0,0392	0,0231	0,01	0,0066	0,0033
4	0,7703	0,6651	0,5582	0,4763	0,3771	0,3185	0,2134	0,1393	0,1042	0,0738	0,036	0,0198	0,0165
5	0,8409	0,7528	0,6673	0,5582	0,4763	0,3996	0,3364	0,2518	0,1675	0,116	0,0861	0,0519	0,0263
6	0,8942	0,8282	0,7331	0,6526	0,5538	0,4711	0,3996	0,3364	0,2641	0,1921	0,1479	0,1042	0,0645
7	0,9176	0,8627	0,7963	0,698	0,6095	0,5214	0,4327	0,373	0,307	0,2366	0,1894	0,1479	0,1042
8	0,9252	0,881	0,8265	0,7536	0,6673	0,5713	0,4918	0,4115	0,3517	0,2906	0,2238	0,1813	0,1563
9	0,9255	0,8838	0,8327	0,7741	0,6929	0,6108	0,5085	0,4364	0,3582	0,3093	0,2666	0,2108	0,1731
10	0,9319	0,8917	0,8472	0,7887	0,7286	0,6408	0,5553	0,4693	0,4075	0,3275	0,2859	0,2493	0,2081
L, м													
Высота провода над горючим материалом, м	8,5	8,75	9	9,25	9,5	9,75	10	10,25	10,5	10,75	11	11,25	11,5
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,0066	0,0033	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,0165	0,0132	0,0033	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,0328	0,0231	0,0132	0,01	0,0033	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0,0676	0,0328	0,0296	0,0132	0,0132	0,0033	0,0033	0	0	0	0	0	0
8	0,1072	0,0738	0,0392	0,0296	0,0231	0,0132	0,0033	0,0033	0	0	0	0	0
9	0,1507	0,116	0,0645	0,0488	0,0263	0,0231	0,0132	0,0033	0,0033	0,0033	0	0	0
10	0,162	0,1422	0,1042	0,0582	0,0488	0,0296	0,0231	0,0165	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0

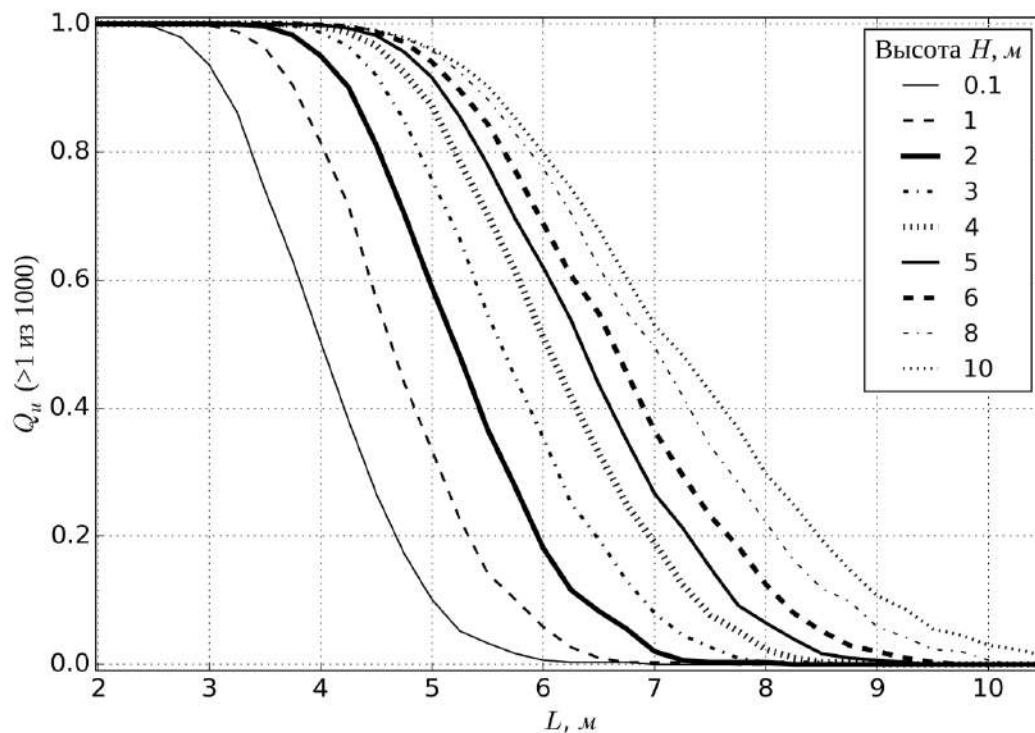


Рис. 4. Вероятность достижения хотя бы одной частицей расстояния L для разных начальных высот

Следует подчеркнуть, что дальнейшему развитию этой методики препятствует отсутствие критерия воспламеняющего действия частиц, в частности, возможности зажигания горючего материала, учитывающей их размер, время действия, свойства реагирующего вещества.

Решение данной задачи позволит распространить данную методику на другие типы опасных проявлений искр металлов:

- скрытые проводки в трубах;
- проводки, проложенные на воздухе (с учетом скорости ветра);
- проводки с медными жилами;
- открытые проводки, выполненные незащищенными изолированными проводами в пожароопасных зонах П-I и П-III;
- электросварка деталей из углеродистой стали и других.

Выводы и перспективы дальнейших исследований.

1. Для определения пожарной опасности тепловых источников (электрическая искра, дуга, капли металла), причастности к пожару короткого замыкания, газосварки, резки металла, необходима научно-обоснованная методика, позволяющая проводить расчеты с целью выявления возможных причин возгорания горючего материала.

2. Недостатком существующей методики в ГОСТ 12.1.004-91 в том, что не учитывается ряд факторов: ускорение частиц металла при вылете; наличие сопротивления воздуха при движении частиц; случайный характер процесса образования расплавленных частиц и их характеристик; использование упрощенных критериев для определения возможности воспламенения горючего материала.

3. В статье разработана методика расчета вероятности появления источника зажигания от расстояния до ближайшей границы горючего материала, которая применима для кабелей и проводов с алюминиевыми жилами. Например, при высоте проводки $H = 3$ м относительно горючего материала, расположенном на расстоянии $L = 7$ м вероятность его загорания менее 10 % (8,3 %).

4. Обоснованным критерием воспламеняющего действия твердых горючих материалов может стать решение задачи зажигания твердого топлива локальным источником ограниченной энергоемкости, в которой выполняются условия зажигания: а) скорость теплоприхода в системе за счет экзотермической реакции в приповерхностном слое конденсированного вещества превышает скорость теплоотвода от «горячей» частицы в топливо и окружающий газ; б) температура горючего материала в области реакции окисления выше начальной температуры источника энергии.

Библиографический список

1. Смелков, Г.И. Пожарная безопасность электропроводок / Г.И. Смелков. – М.: ООО «КАБЕЛЬ», 2009. – 328 с.
2. Полухин, О.В. Автоматизированный метод исследования пережигающего действия дугового короткого замыкания / О.В. Полухин // Ползуновский вестник. – 2012. – № 4. – С. 116-120.
3. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – Взамен ГОСТ 12.1.004-85; введ. 01.07.92 – М.: Госстандарт СССР – 126 с.
4. Рубис, А.С. Математическая проверка версии возникновения пожара от искр, образовавшихся в результате проведения огневых работ и аварийных режимов электросети / А.С. Рубис, А.М. Анисяев // Теорія та практика судової експертизи і криміналістики. – 2010. – Вып. 10. – С. 499-504 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Trpsek_2010_10_74 (дата обращения: 04.04.2016).
5. Соболев, Н.П. Исследование электрического взрыва тонких проволок / Н.П. Соболев // ЖЭТФ. – 1947. – Т. 17. – Вып. 2.
6. Маслов, А.В. Разработка методов и способов повышения пожарной безопасности распределительных сетей до 1 кВ на промышленных предприятиях : дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. – М., 1989. – 195 с.
7. Доля, П.Г. Основы работы в системе MATLAB / П.Г. Доля. – Харьков: Харьковский Национальный Университет. – 2011. – 204 с.
8. Установление причины пожара. Применяемые методы. – Информационное письмо // НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций. – Минск, 2002.

© А.В. Згарбул, И.А. Бершадский, А.П. Ковалёв, 2016
Рецензент д-р техн. наук, проф. Ю.Ф. Булгаков
Статья поступила в редакцию 08.04.2016

FIRE RISK OF THE INCANDESCENT PARTICLES OF ALUMINIUM CURRENT-CARRYING CONDUCTORS DURING SHORT CIRCUITS IN ELECTRIC WIRING

Andrey Viktorovich Zgarbul, Engineer,

Assistant of the Power Supply of Industrial Companies and Cities Department;
zgarbul.andrey@gmail.com;

Prof. Ilya Adolfovich Bershadsky, Ph.D. (Tech.);

Professor of the Power Supply of Industrial Companies and Cities Department;
ibersh@rambler.ru;

Prof. Alexander Petrovich Kovalyov, Ph.D. (Tech.), D.Sc. (Tech.);

Professor of the Power Supply of Industrial Companies and Cities Department;
kovaliov.a.p@gmail.com;

Donetsk National Technical University;
283012, Donetsk, 53/22 Slovatskaya Str.,
Phone: +38 (066) 895-12-76

Almost half of the fires in the electric reasons arises in cables and electric wirings. One of components of fire danger is genesis of the molten particles of conductors which can set fire to flammable materials. The shortcomings of the existing techniques of determination of fire-risk parameters of thermal sources are the simplified accounting of movement and cooling time of a particle and absence of universal criterion for her igniting ability that significantly complicates development of a technique of determination of safe distance where flammable material may situate and ways of its protection. In article the statistical method for verification of the version of fire generation from sparks during short circuits in electric wiring with aluminum conductors is offered and ways of further researches are planned.

Keywords: *electrical wiring, fire danger, molted particle, participation in the fires, probability, safe distance.*