

ЭКСПЕРТНА ПРАКТИКА: МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ПОЖЕЖНО-ТЕХНІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

А. С. Рубис, председатель научно-методического совета ООО «Международный центр экспертизы», профессор кафедры прокурорского надзора ИППК следователей, прокурорских работников и судей Белорусского государственного университета, доктор юридических наук, доцент,
А. М. Анисяев, заместитель директора ООО «Международный центр экспертизы»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ВЕРСИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА ОТ ИСКР, ОБРАЗОВАВШИХСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОВЕДЕНИЯ ОГНЕВЫХ РАБОТ И АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОСЕТИ

Наведено приклад орієнтуючого розрахунку, виконаного з метою перевірки можливості виникнення пожежі від іскр, що утворилися в результаті проведення вогневих робіт і аварійних режимів електромережі.

Приведен пример ориентирующего расчета, выполненного с целью проверки возможности возникновения пожара от искр, образовавшихся в результате проведения огневых работ и аварийных режимов электросети.

При исследовании и экспертизе пожаров перед специалистами нередко ставятся вопросы, связанные с возможностью воспламенения различных веществ искрами и каплями металла, образовавшихся при коротком замыкании, электросварке, газосварке, резке, плавлении электродов электрических ламп накаливания.

Наиболее часто о причастности таких частиц к возникновению пожара судят исходя лишь из детерминистических познаний, связанных с тем, что искры (капли) металла имеют очень высокую температуру (несколько тысяч градусов¹). Вместе с тем в судебно-экспертной деятельности опираться на такие знания недопустимо.

В первую очередь это связано с тем, что образовавшиеся капли металла из-за их небольших размеров и массы (полидисперсность колеблется от нескольких микрометров до десятка миллиметров) достаточно быстро остывают и при определенных условиях (например, в случае падения со

¹ См.: Федотов А. И. Пожарно-техническая экспертиза / А. И. Федотов, А. П. Ливчиков, Л. Н. Ульянов. — М.: Стройиздат, 1986.

значительной высоты) не смогут воспламенить сгораемые вещества при попадании на них. Кроме того, существенное значение имеет решение вопроса о возможности попадания искры в определенное место.

Исходя из этого, перед экспертом стоят две задачи. Первая – требуется определить, могла ли капля металла попасть в очаг пожара, и вторая – разрешить вопрос о температуре капли и количестве тепла, которое она может отдать веществу при попадании на него.

Решить эти задачи можно двумя путями: провести экспертный эксперимент и рассчитать. Поскольку проведение экспертного эксперимента в ряде случаев невозможно, так как это связано с большими временными и материальными затратами, а также сложностями с воссозданием определенных условий и обстановки, то предпочтительным является второй вариант.

Общий подход к определению пожароопасных параметров электрических искр (капель металла) изложен в ГОСТ 12.1.004-91¹. В ГОСТе среднюю скорость капли металла (ω_k , м/с) предлагается вычислять по формуле

$$\omega_k = 0,5 \times \sqrt{2gH}, \quad (1)$$

где H – высота, на которой образовались капли металла, м; g – ускорение свободного падения, м/с²,

а общее время полета капли ($\tau_{пол}$, с) по формуле

$$\tau_{пол} = \frac{H}{\omega_k}. \quad (2)$$

Однако разлет расплавленных частиц металла (при коротком замыкании, электросварке) обусловлен в первую очередь взрывообразным разрушением жидкой перемычки проводниковых материалов, возникающей в зоне короткого замыкания. Взрывообразное разрушение перемычки приводит к образованию ударной волны, разбрызгивающей металл, а возникающий при этом дуговой разряд вызывает газодинамический удар, который и придает ускорение частицам металла².

Поэтому в реальных условиях образования капель металла формулы (1) и (2) не применимы, поскольку они описывают случай свободного падения капли без учета начальной скорости ее вылета.

Для расчета времени $\tau_{пол}$ и средней скорости полета ω_k капли металла предлагается использовать такие выражения

$$\tau_{пол} = \frac{\omega_n \times \sin \gamma}{g} + \sqrt{\left(\frac{\omega_n \times \sin \gamma}{g}\right)^2 + \frac{2H}{g}}, \quad (3)$$

¹ См.: Пожарная безопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.004-91. — М. : Госстандарт, 1985.

² См.: Смелков Г. И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах / Г. И. Смелков. — М. : Энергоатомиздат, 1984.

$$\omega_k = \frac{1}{\tau_{пол}} \times \int_0^{\tau_{пол}} \sqrt{(\omega_n \times \cos \gamma)^2 + (\omega_n \times \sin \gamma - g\tau)^2} d\tau, \quad (4)$$

где γ – угол, под которым вылетает капля металла, град; ω_n – начальная скорость вылета капли металла, м/с.

Для определения дальности (радиуса) разлета (L , м) капель металла, предлагается такая формула

$$L = \omega_n \times \cos \gamma \times \left(\frac{\omega_n \times \sin \gamma}{g} + \sqrt{\left(\frac{\omega_n \times \sin \gamma}{g} \right)^2 + \frac{2H}{g}} \right). \quad (5)$$

Использование в расчете формулы (5) позволяет еще на первоначальном этапе отработать вопрос о возможности попадания капли металла в очаг пожара.

Рассмотреть этот момент удобнее всего на примере. В ангаре высотой 10 м возник пожар. В ходе проведения дознания установлено, что в конце рабочего дня, предшествовавшего пожару, под сводом ангара производилась электросварка его арки, выполненной из углеродистой стали. На момент сварки температура в ангаре была 20°C. Осмотром места пожара был установлен его очаг, который располагался на расстоянии 10 м от вертикали, опущенной из точки сварки на пол ангара. В очаге пожара (до его возникновения) хранилась бумага в кипах. Орган дознания выдвинул несколько версий происшествия, в том числе о причастности к возникновению пожара электросварочных работ. Для отработки указанной версии была назначена пожарно-техническая экспертиза, на разрешение которой поставлены три вопроса:

— Может ли капля расплавленного металла, вылетая из точки сварки, долететь до очага пожара?

— Какую температуру будет иметь капля металла при попадании на хранящиеся вещества?

— Какое количество тепла может отдать капля металла веществу?

За исходные параметры расчета были приняты следующие данные:

— H – высота, на которой образовались капли металла (принята за 10 м – высота ангара);

— материал капли – сталь М 45 (углеродистая сталь имеет плотность $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$; температуру плавления $T_{пл} = 1673 \text{ К}$, удельную теплоту кристаллизации $C_{кр} = 317750 \text{ Дж/кг}^3$);

¹ См.: Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов (справочное руководство) / В. С. Чиркин. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1959.

² См.: Зернов С. И. Расчетные оценки при решении задач пожарно-технической экспертизы : учеб. пособ. / С. И. Зернов. — М. : ЭКЦ МВД России, 1992.

³ См.: Таубкин С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы / С. И. Таубкин. — М.: ВНИИПО, 1999.

— материал, на который могли попасть капли металла – бумага имеет температуру самовоспламенения $T_{св} = 230^{\circ}\text{C}$ или 503 K ¹;

— T_o – температура воздуха на момент возникновения пожара – 20°C (при такой температуре коэффициент теплопроводности воздуха $\lambda_g = 0,0259\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, кинематическая вязкость воздуха $\nu_g = 15,06 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$)²;

— ω_n – начальная скорость вылета капли металла принята равной 4 м/с ;

— γ – угол, под которым вылетает капля металла из точки сварки (принята в 14°);

— d_k – диаметр капли металла принят равным $0,003\text{ м}$.

Расчет.

Дальность разлета капли (L , м) определялась по формуле (5):

$$L = \omega_n \times \cos \gamma \times \left(\frac{\omega_n \times \sin \gamma}{g} + \sqrt{\left(\frac{\omega_n \times \sin \gamma}{g} \right)^2 + \frac{2H}{g}} \right) = 5,94 \approx 6 .$$

Время полета капли металла ($\tau_{пол}$, с) и средняя скорость ее полета (ω_k , м/с) рассчитывались по формулам

$$\tau_{пол} = \frac{\omega_n \times \sin \gamma}{g} + \sqrt{\left(\frac{\omega_n \times \sin \gamma}{g} \right)^2 + \frac{2H}{g}} = 1,53 ,$$

$$\omega_k = \frac{1}{\tau_{пол}} \times \int_0^{\tau_{пол}} \sqrt{(\omega_n \times \cos(\gamma))^2 + (\omega_n \times \sin(\gamma) - g\tau)^2} d\tau = 8,07 .$$

Далее производились расчеты⁵:

— площади поверхности капли металла (S_k , м²) по формуле

$$S_k = \pi \times d_k^2 = 2,8 \times 10^{-5} ;$$

— объема капли металла (V_k , м³) по выражению

$$V_k = \frac{\pi \times d_k^3}{6} = 1,41 \times 10^{-8} ;$$

— числа Рейнольдса (Re) по формуле

$$\text{Re} = \frac{\omega_k \times d_k}{\nu_g} = 1,607 \times 10^3 ;$$

¹ См.: *Корольченко А. Я.* Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник / А. Я. Корольченко. — М. : Ассоциация «Пожнаука», 2000. — Ч. I.

² См.: *Зернов С. И.* Указ. работа.

³ См.: *Федотов А. И., Ливчиков А. П., Ульянов Л. Н.* Указ. работа.

⁴ См.: Там же.

⁵ См.: Там же.

— критерия Нуссельта (Nu) по формуле

$$Nu = 0,62 Re^{0,5} = 24,85 ;$$

— коэффициента теплоотдачи капли металла (α , Вт/м²·К) по формуле

$$\alpha = \frac{Nu \times \lambda_g}{d_k} = 214,56 .$$

Также был произведен расчет¹:

— удельной теплоемкости расплава углеродистой стали (C_p , Дж/кг·К) по формуле

$$C_p = 561 + 0,2 \times t = 561 + 0,2 \times 1400 = 841 ;$$

— удельной теплоемкости углеродистой стали (C_k , Дж/кг·К) при температуре воздуха, равной 20 °С, по формуле

$$C_k = 561 + 0,2 \times t = 561 + 0,2 \times 25 = 565 .$$

Масса капли металла (m_k , кг) рассчитывалась по формуле

$$m_k = V_k \times \rho_k = 1,1 \times 10^{-4} .$$

Произведен выбор начальной температуры капли металла, T_n (так как производилась электросварка начальная температура капли металла была принята равной 2100°С, или 2373 К)² и расчет времени полета капли металла в расплавленном (жидком) состоянии.

Время полета капли металла в расплавленном (жидком) состоянии (τ_p , с) определялось по формуле³

$$\tau_p = \frac{C_p \times m_k}{\alpha \times S_k} \times \ln \frac{T_n - T_o}{T_{пл} - T_o} = 6,312 .$$

Поскольку время полета капли металла в расплавленном состоянии $\tau_p = 6,312$ с, а общее время полета капли $\tau_{пол} = 1,53$ с, то выполняется условие $\tau_{пол} \leq \tau_p$, и конечная температура капли металла ($T_{кон}$, К) определялась по формуле⁴

$$T_{кон} = T_o + (T_n - T_o) \times \exp \left(- \frac{\alpha \times S_k}{C_p \times m_k} \times \tau_{пол} \right) = 2176 \text{ или } 1903 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

¹ См.: Зернов С. И. Указ. работа.

² См.: Пожарная безопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.004-91.

³ См.: Там же.

⁴ См.: Там же.

Количество тепла, отдаваемое каплей металла материалу, на который она попала (W , Дж) рассчитывалось по формуле

$$W = V_k \times \rho_k \times C_k \times (T_{кон} - T_{св}) = 104,9 \approx 105.$$

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

Проведение электросварочных работ (при принятых условиях) не явилось причиной пожара, т. к. расплавленные капли металла не могли попасть в очаг пожара (дальность разлета недостаточна).

Если бы капли металла попали на складированную бумагу, то она, возможно, могла воспламениться.

Внедрение формул (3) и (4) в ГОСТируемую методику определения пожароопасных параметров искр (капель металла) носит прикладной характер и может быть рекомендовано работникам органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, занимающихся исследованием и экспертизой пожаров.