

УДК 614.841

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Мензелейев А. С.

Научный руководитель – к. т. н., доц. Калентионок Е. В.

На понижающих подстанциях пожары чаще всего происходят на трансформаторах, масляных выключателях и в кабельном хозяйстве.

Крупные подстанции имеют специальные маслостанции, а каждый трансформатор устанавливается в специальную камеру. При горении масла над крышкой трансформатора часть масла из расширителя сливают в дренажные лотки.

Эти факторы определяют зоны и очаги возможного возгорания, и расстановку, и подачу огнетушащего вещества.

Следует отметить, что гарантированного тушения пожара системы автоматического пожаротушения обеспечить не смогут, особенно если очаги пожара остаются в недоступных участках дренажных каналов, приямках, элементах разрушенных конструкций трансформаторов.

В настоящее время требования по защите трансформаторов установками пожаротушения изложены в НП5110-03 и ведомственных нормативных документах энергетики РД153-34.0 -49.101-2003 и РД34.15.109-91.

Из создавшегося положения есть несколько путей, ведущих к началу 70-х годов. Предшествовавших созданию РД34.15.109-91. смысл которых сводится к следующему:

- применить для установок пожаротушения оросители типа ДВ, используемые с успехом для пожаротушения кабельных сооружений;
- применить оросители эвольвентного типа.

Недостатком традиционных установок водяного пожаротушения является недостаточная эффективность использования ОТВ, что связано с низкой дисперсностью образующихся в процессе распыления капель воды. Высокой эффективностью при пожаротушении обладает тонкораспыленная вода (ТРВ), которая формируется в результате диспергирования жидкости на капли с размером не более 100 мкм. Уменьшение водяных капель до размеров менее 100 мкм существенно меняет механизм тушения огня. Обладая высокой проникающей и охлаждающей способностью, ТРВ позволяет надёжно тушить пожары при небольшом расходе ОТВ в течение короткого промежутка времени. Поэтому исследование механизмов пожаротушения ТРВ является актуальной проблемой.

Системы пожаротушения ТРВ позволяют максимально эффективно использовать все преимущества воды, основным из которых является развитая удельная наружная поверхность капель (таблица 1). Размеры капель ТРВ в 5–20 раз меньше, чем для традиционных систем. Очевидно, от применения ТРВ следует ожидать высокой эффективности пожаротушения (таблица 2).

Таблица 1 - Количество и площадь поверхности капель в зависимости от их диаметра

Диаметр капель воды, мм	Количество капель воды, шт.	Площадь поверхности капель воды, м <sup>2</sup>
120	1	0,05
6	8 846	1
0,1	1 910 828 025	60
0,05	15 286 624 204	120
0,025	122 292 993 631	240
0,001	1 910 828 025 478	600

Таблица 2 - Сравнение системы пожаротушения ТРВ и традиционных систем водяного пожаротушения

Сравнительная характеристика	Количественный показатель	
	традиционная система водяного пожаротушения	система пожаротушения тонкораспыленной водой
Диаметры применяемых трубопроводов, мм	16–159	16–59
Расчетная площадь тушения, м <sup>2</sup>	120	90
Максимальное количество одновременно работающих оросителей, шт.	10	10
Расход воды из одного оросителя, л/мин	57	16
Нормативное время истечения воды из оросителя, мин	30	6
Объем воды, подаваемой из одного оросителя за нормативное время, л	1710	96

По данным работы [3. с. 32] время тушения уменьшается при уменьшении среднего диаметра капель, то есть эффективность пожаротушения выше у высокодисперсного потока капель (Рисунок 1. Зависимость времени тушения  $t_{туш}$  от среднего диаметра капель воды  $d_{ср.}$ ).

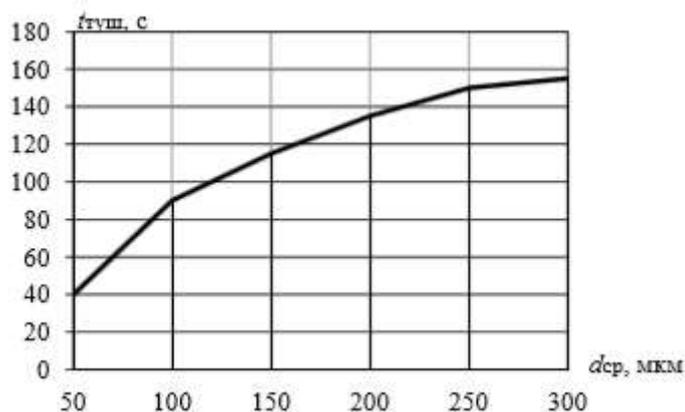


Рисунок 1. Зависимость времени тушения  $t_{туш}$  от среднего диаметра капель воды  $d_{ср}$ .

Рассчитаем возможное время тушения трансформатора при ТРВ. Согласно [1, с. 56] темп нагрева масла для трансформатора площадью  $S = 270 \text{ м}^2$ , объемом масла  $V = 50 \text{ м}^3$ .

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = 0,2237 \quad (1)$$

Это значит, что за 180 с трансформатор нагреется до  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для получения темпа нагрева масла экспериментально [1, с. 57] определена значения плотности потока стенки. Которая определялась из плотности теплового потока факела на стальную стенку, и плотности теплового потока, снимаемого за счет конвекции воздуха окружающей среды  $q_{em}$ :

$$q_{em} = \sigma_s \cdot \varepsilon_{ef} \cdot (T_w^4 - T_{amb}^4), \quad (2)$$

Где  $\sigma_s$  - постоянная излучения абсолютно черного тела,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;  
 $\sigma_s = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;

$\varepsilon_{ef}$  - эффективная степень черноты поверхности,  $\varepsilon_{ef} = 0,8$ ;

$T_w, T_{amb}$  - измеренная температура соответственно поверхности и окружающей среды, К.

Также немаловажным значением является отношение площади поверхности к объему масла. В экспериментальной установке [1, с. 57] это соотношение равно:

$$S/V = 6.7 \text{ м}^2.$$

Экспериментальная установка, моделирующая возможные типы горения масла описана в [1, с. 57]. Интенсивность орошения воды составляла  $J = 0,04..0,05 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

По результатам более 40 опытов было получено экспериментальное время тушения и охлаждения элементов и фрагментов трансформатора тонкораспыленной водой  $\bar{t} = 68 \text{ с}$ .

Так как это расчет экспериментальный, то есть вероятность того, что времени тушения и охлаждения трансформаторов будет недостаточно. Расчетное время тушения можно определить аналитически [1, с. 58]:

$$t = \bar{t} \cdot \ln(1/\xi), \quad (3)$$

где  $\xi$  - вероятность не тушения пожара.

Это выражение в какой-то мере отражает доминирующую роль случайных факторов в процессе тушения пожара. Произведем расчет времени тушения.

Возьмем, что наша установка будет установлена в южной части Беларуси, пожар возник в летнее время. При увеличенной температуре воздуха, возьмем вероятность, что 15 из 100 пожаров не будут потушены. Риск примем  $\xi = 0,15$

Рассчитаем аналитически время тушения:

$$t = 68 \cdot \ln\left(\frac{1}{15}\right) = 129 \text{ с} \approx 2,15 \text{ мин.}$$

Анализ способов формирования высокодисперсных капель и их транспортирования показывает [3], что диспергирование воды потоком газа является весьма перспективным. В качестве распыливающего газа могут использоваться инертные газы и воздух. Для обеспечения высокой эффективности пожаротушения ТРВ необходимо, чтобы содержание высокодисперсных капель в газожидкостном факеле распыления было значительным. При высокой скорости истечения газа из распылителя гарантируется формирование потока капель ТРВ с размерами менее 100 мкм и их доставка в очаг горения.

Дисперсность капель воды зависит от скорости газового потока и свойств жидкости – поверхностного натяжения и вязкости. Вязкость воды мала ( $\mu_v = 0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ), а поверхностное натяжение велико ( $\sigma = 0,073 \text{ Н/м}$ ), поэтому дробление капли воды зависит от скорости, действующего на нее потока газа, и поверхностного натяжения. Процесс диспергирования капель описывается критерием Вебера  $We$  [4]:

$$We = \frac{\rho_v \cdot \Delta U^2 \cdot d}{\sigma}, \quad (4)$$

где  $\rho_v$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta U$  – относительная скорость газа и капли, м/с;  $d$  – диаметр капли, м;  $\sigma$  – поверхностное натяжение, Н/м.

Распад капли наступает в том случае, если критерий Вебера  $We > W_{кр}$ . Значение критического числа Вебера приблизительно  $W_{кр} = 10$ .

Средний диаметр капель  $d_{cp}$  (мкм) воды существенно уменьшается при увеличении скорости истечения газа  $U_g$  (м/с) из распылителя (Рисунок 2. Зависимость среднего диаметра капель воды  $d_{cp}$  (мкм) от скорости истечения газа  $U_g$  (м/с) из распылителя.)

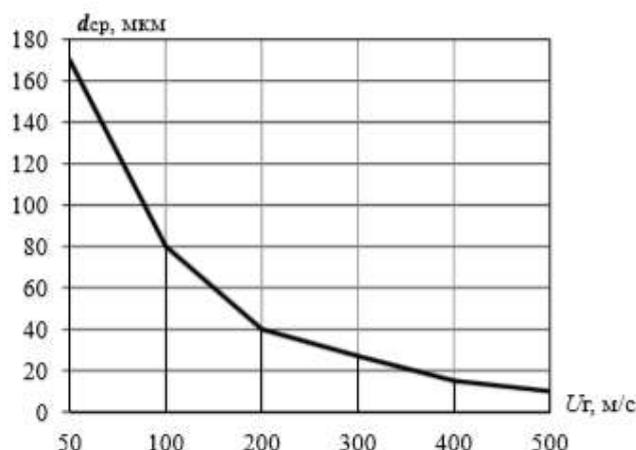


Рисунок 2. Зависимость среднего диаметра капель воды  $d_{cp}$  (мкм) от скорости истечения газа  $U_g$  (м/с) из распылителя.

В формуле (2) важным параметром является  $\Delta U$ , так как относительная скорость капель и воздуха должна иметь большое значение. Рассчитаем одинаковые капли, при одинаковых скоростях газа, но при различных  $\Delta U$ .

$$We = \frac{1000 \cdot 5^2 \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{0,073} = 13,6,$$

$$We = \frac{1000 \cdot 2,5^2 \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{0,073} = 3,42.$$

По результатам исследования для формирования высокодисперсного потока капель желательно иметь сверхзвуковую скорость истечения газа  $U_2 \geq 340$  м/с. При сверхзвуковом режиме истечения на капли воды оказывается сильнейшее воздействие со стороны потока газа, приводящее к гарантированному дроблению капель воды до размеров менее 100 мкм.

Тонкораспыленная вода (размер капель менее 100 мкм) обладает высокой эффективностью при тушении пожаров.

Охлаждение внешних элементов трансформатора традиционными дренчерными оросителями требует большой интенсивности орошения  $J = 0,2$  л/(м<sup>2</sup>·с) и продолжительного времени тушения, а при тонкораспыленной воде мы получили при степени орошения воды  $J = 0,04..0,05$  л/(м<sup>2</sup>·с) расчетное время тушения для южной части Беларуси  $t=2,66$  мин

Практическому внедрению систем пожаротушения ТРВ препятствует недостаточная изученность влияния дисперсности капель на эффективность тушения, способа доставки дисперсных капель в атмосферу.

Если будет разработан способ доставки дисперсных капель на расстояние, то пожаротушение не только трансформаторов, но и других объектов будет значительно ускорено с меньшими расходами воды.

#### Литература

1. Душкин А. Л., Ловчинский С. Е., Рязанцев Н. Н. Экспериментальные исследования метода подавления возгорания маслонаполненного трансформатора тонкораспыленной водой // Средства и способы тушения пожаров. – Пожаровзрывобезопасность. – 2016. –Т.25, №1. С. 54-60.
2. Андрюшкин А. Ю., Пелех М. Т., Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2012. – Т.21, № 1. – С. 64-69.
3. Душкин А.Л., Янышев С.С., Карпышев А.В. Мобильные и стационарные системы пожаротушения тонкораспыленной водой // Крупные пожары: предупреждение и тушение: материалы XVI науч.-практ. конф. М.: ВНИИПО, 2001. С. 30–33.
4. Волынский М.С. Распыливание жидкости в сверхзвуковом потоке // Известия Академии наук СССР, ОТН «Механика и машиностроение». 1963. № 2, С. 20–27.