

А. Л. ДУШКИН, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, старший научный сотрудник, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4)

С. Е. ЛОВЧИНСКИЙ, инженер, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4; e-mail: Lovchinskiy@inbox.ru)

Н. Н. РЯЗАНЦЕВ, старший научный сотрудник, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4)

УДК 614.841

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДА ПОДАВЛЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ МАСЛОПОЛНЕННОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Освещены результаты экспериментального исследования подавления очагов воспламенения маслонаполненного трансформатора с учетом охлаждения его разогретых элементов. Показано, что тушение трансформатора неразрывно связано с охлаждением нагретых тепловым потоком частей и элементов трансформатора, причем необходимость охлаждения металлических частей в несколько раз увеличивает потребное время подачи тонкораспыленной воды по сравнению с временем тушения масла на горизонтальной поверхности поддона. Определено время, необходимое для надежного тушения и охлаждения нагретых частей трансформатора до температуры ниже температуры самовоспламенения масла для потока тонкораспыленной воды.

Ключевые слова: тонкораспыленная вода; тушение; охлаждение; интенсивность орошения; маслонаполненный трансформатор.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.54-60

Применяемые в настоящее время автоматические системы пожаротушения маслонаполненных трансформаторов, использующие традиционные дренчерные оросители, как минимум, недостаточно эффективны. Об этом свидетельствует, в частности, повышенный расход воды, энергоемкость которого на порядок превышает тепловыделение от очага пожара. Коренным образом изменить положение дел может применение высокоскоростных потоков тонкораспыленной воды [1].

В сложившейся ситуации чрезвычайно важным является знание оптимальных параметров потока жидкости, а именно размера капель, скорости их движения и интенсивности орошения защищаемой поверхности.

В многочисленных работах, проведенных в последние годы [2–5] и связанных с тонкораспыленной водой, показано, что такое огнетушащее вещество (ОТВ) может иметь широкое распространение в области пожаротушения и подавления очагов возгорания легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) благодаря своей высокой эффективности.

Успешное тушение пожара тонкораспыленной водой определяется не только размерами капель огнетушащего вещества, но и в большей степени их скоростью и интенсивностью орошения защищаемой поверхности [6]. В связи с этим требуется тщательный подбор распылителей [7] с учетом их параметров и характеристик, генерирующих тонкораспыленную воду, для их применения в системах противопожарной защиты маслонаполненных трансформаторов. При этом следует учитывать, что для установок автоматического пожаротушения используется вода, которая не требует специальной степени очистки.

При создании противопожарных систем определяющим параметром [8] является критическая (определяющая нормативную) или минимально возможная интенсивность подачи огнетушащего вещества, т. е. необходимый расход ОТВ на единицу площади и время подачи для обеспечения надежного тушения и охлаждения нагретых во время пожара элементов защищаемого объекта.

Именно эти два параметра определяют потребное количество ОТВ, которое необходимо запасти и

подать на защищаемый объект [9]. При существующих для маслонаполненных трансформаторов нормах по интенсивности орошения ($J = 0,2 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) и времени тушения ($\tau = 30 \text{ мин}$) система пожаротушения требует неоправданно больших расходов и запасов воды, что ведет к удорожанию системы, сооружению специальных водоемов или емкостей, увеличению потребной мощности для обеспечения функционирования системы.

Для определения критической интенсивности орошения и необходимого времени тушения и охлаждения трансформатора была создана экспериментальная установка, моделирующая следующие типы (виды) пожаров на трансформаторе:

- горение масла в маслоприемнике трансформатора;
- горение масла на горизонтальных поверхностях, покрытых гравием, песком, землей и т. п.;
- горение масла на вертикальных поверхностях, имитирующих разрушение стенок трансформатора;
- горение масла на предварительно нагретых металлических элементах и фрагментах трансформатора от уже существующего пожара или от внешнего источника (пожар соседнего трансформатора, электрический разряд и т. п.);
- горение масла при его истечении из образовавшейся щели (негерметичность);
- горение масла на элементах конструкции токоввода при его разрушении;
- охлаждение нагретых элементов конструкции до температуры ниже уровня воспламенения масла.

Наибольшее значение имеют экспериментальные данные, которые получены в результате исследования на моделях, максимально приближенных к реальным условиям тушения пожара на конкретном объекте [10, 11].

Электротехнические элементы трансформатора имеют большую тепловую инерционность (медь). По этой причине темп охлаждения всего трансформатора даже потоком тонкораспыленной воды будет мал — $10^{-2} \dots 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/с}$. Возгорание и пожар трансформатора носят случайный характер как по месту и площади, так и по характеру и причине зажигания. В связи с этим для определения времени тушения на какой-либо модели, приближенной к реальным условиям, необходимо воспроизвести на ней как можно большее количество типов пожаров на трансформаторе. Как уже говорилось, модель должна отражать наиболее жесткие критические параметры возгорания.

Во-первых, важно создать тепловые потоки от очага горения к поверхности емкости с маслом, которые были бы равны по величине реальным. Во-вторых, необходимо обеспечить темп нагрева масла в

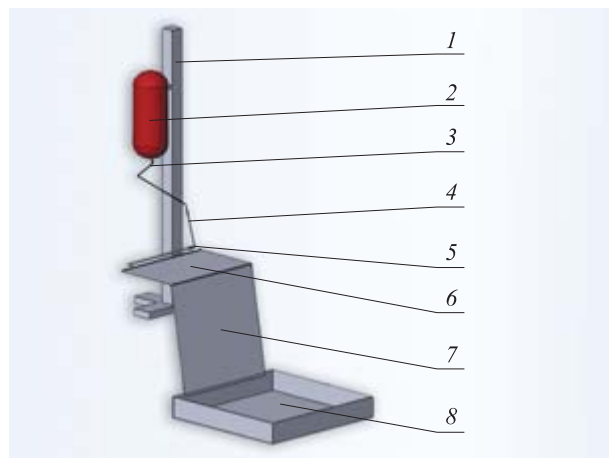


Рис. 1. Модельная установка для определения температуры поверхности трансформатора и плотности тепловых потоков при розливе и возгорании масла: 1 — стойка крепления емкости с трансформаторным маслом; 2 — емкость с трансформаторным маслом; 3 — запорная арматура подачи трансформаторного масла; 4 — гибкая магистраль; 5 — трубка формирования модели розлива трансформаторного масла; 6 — поверхность распределения масла; 7 — поверхность измерения температуры с термопарой; 8 — поддон с ЛВЖ

емкости, близкий к темпу нагрева масла в трансформаторе при пожаре на всех поверхностях.

Плотность тепловых потоков к поверхности емкости с маслом была определена экспериментально на установке, представленной на рис. 1.

В поддоне 8 формировался модельный очаг согласно нормам проведения испытаний, которые описаны в [12]. В качестве горючего материала при проведении испытаний применялось масло трансформаторное Nymtro 11GX (11GBX), соответствующее стандарту IEC 60296:03.

После поджога очага измерялось время горения и температура поверхности 7 термодатчиком и тепловизором FLIR.

По истечении 120 с открывался кран подачи ОТВ 3, после чего масло из емкости 2 по гибкой магистрали 4 поступало в трубку 5 и распределялось по поверхности 6, а затем — по поверхности 7.

На рис. 2 приведен снимок с тепловизора, полученный в этом экспериментальном исследовании. По изменению температуры с начала возгорания определяли плотность теплового потока к стенке, как количество тепла, полученного стенкой в единицу времени с единицы площади с учетом теплоемкости материала стенки.

Зарегистрированные тепловизором FIRE и хромель-алюмелевым термодатчиком значения температуры стенки (рис. 3) в различные моменты времени позволяют провести теплофизические расчеты температуры поверхности трансформатора и плотности теплового потока (рис. 4), идущего на разогрев масла внутри его.

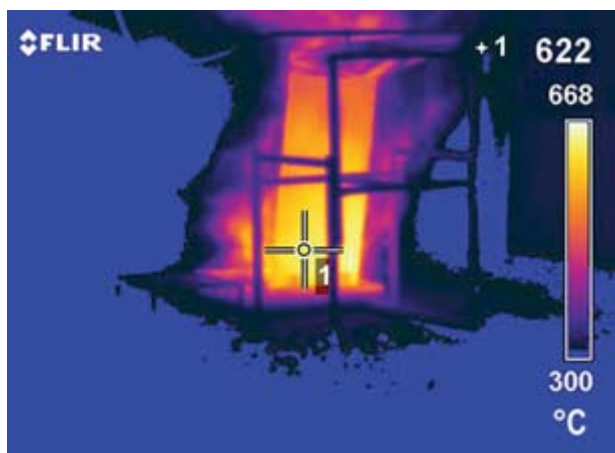


Рис. 2. Температурное поле пластины через 180 с от начала горения

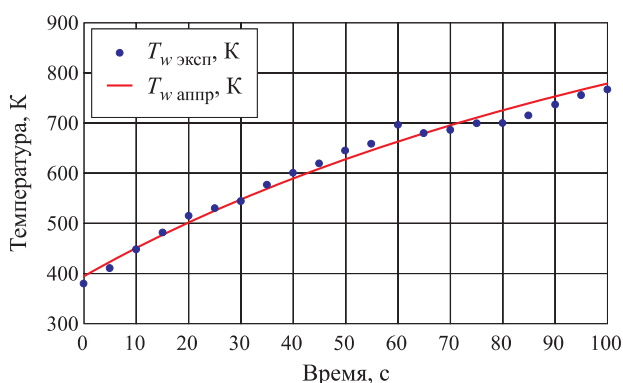


Рис. 3. Результаты измерения ($T_{w\text{эксп}}$) и аппроксимации ($T_{w\text{аппр}}$) температуры

Тепловой поток от факела горения к вертикальной стенке q_{exp} складывается из теплового потока, идущего на разогрев стенки q_v , теплового потока, уходящего за счет излучения с поверхности стенки q_{em} , и теплового потока, снимаемого за счет конвекции воздуха окружающей среды. Суммарная плотность теплового потока к вертикальной стенке составляла 60...75 кВт/м².

Плотность теплового потока q_v определялась из решения обратной задачи теплопроводности методом регуляризации по результатам измерения температуры стенки.

Для вычисления плотности теплового потока за счет излучения q_{em} использовалось уравнение Стефана – Больцмана:

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

где σ_s — постоянная излучения абсолютно черного тела (постоянная Стефана – Больцмана), Вт/(м²·К⁴);
 $\sigma_s = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴);
 ε_{ef} — эффективная степень черноты поверхности;
 $\varepsilon_{ef} = 0,8$;
 T_w, T_{amb} — измеренная температура соответственно поверхности и окружающей среды, К.

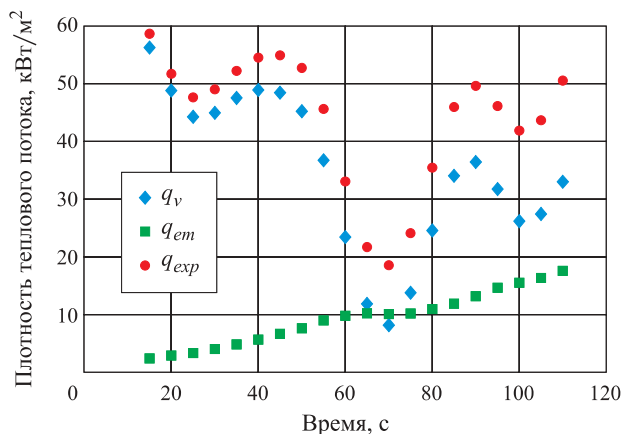


Рис. 4. Результаты определения плотности теплового потока, идущего на изменение энтальпии q_v , уходящего за счет излучения q_{em} ; q_{exp} — суммарная плотность теплового потока от факела к стенке

Эффективная степень черноты поверхности определялась по результатам измерения температуры стенки термометрами и тепловизором.

Темп нагрева жидкости или твердого тела выражается (в осредненных по площади поверхности и объему величинах) формулой

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \frac{\int_S q dS}{\int_V \rho C dV} = \frac{\bar{q} S_{\Sigma}}{\bar{\rho} \bar{C} V}, \quad (1)$$

где q — удельная плотность теплового потока от пожара, кВт/м²;

S_{Σ} — суммарная, воспринимающая этот поток площадь поверхности, м²;

V — объем масла, м³;

$\bar{q}, \bar{\rho}, \bar{C}$ — средние значения плотности теплового потока, плотности масла и его теплоемкости.

Весь внутренний объем трансформатора 50 м³ с маслом, обмотками, электротехническими элементами обладает громадной тепловой инерционностью из-за высокой теплоемкости масла: $\rho CV \approx 846 \cdot 2,0 \times 50 = 84,600$ МДж/°С (здесь ρ — плотность масла, кг/м³; C — удельная теплоемкость масла, Дж/(кг·°С)).

Подставив в формулу (1) известные значения (при общей площади реального трансформатора $S = 270$ м² и объеме масла $V = 50$ м³), получим:

$$\Delta t / \Delta \tau = 0,2237.$$

Тогда за 180 с масло нагреется на $\Delta t \approx 40$ °С.

Однако определенная таким образом температура является усредненной температурой по объему. В действительности же у стенки, в так называемом пограничном слое, существует вероятность локального вскипания масла. Это явление может усиливаться из-за случайных отклонений тепловыделения при пожаре, что характерно для горения горючих жидкостей. При кипении объем масла увеличивается,

давление внутри корпуса растет и, как следствие, повышается вероятность разрыва стенок трансформатора.

Из выражения (1) видно, что при создании на экспериментальной установке теплового потока q и использовании масла, идентичного натурному, модель должна обеспечить отношение площади поверхности, воспринимающей тепловой поток, к объему масла, близкое или большее по величине:

$$270 \text{ м}^2 / 50 \text{ м}^3 = 5,4 \text{ м}^{-1}.$$

Установка, моделирующая возможные типы горения масла на трансформаторе, представляет собой прямоугольную емкость вместимостью 39,5 л, установленную над поддоном, для поджига в нем масла (рис. 5).

Емкость установки 2 находится в металлическом поддоне 1, который заполняется гравием 4 (имитирующим засыпку маслосборника) и 5 л трансформаторного масла. В емкость установки 2 заливается 35 л масла и помещается хромель-копелевая термопара.

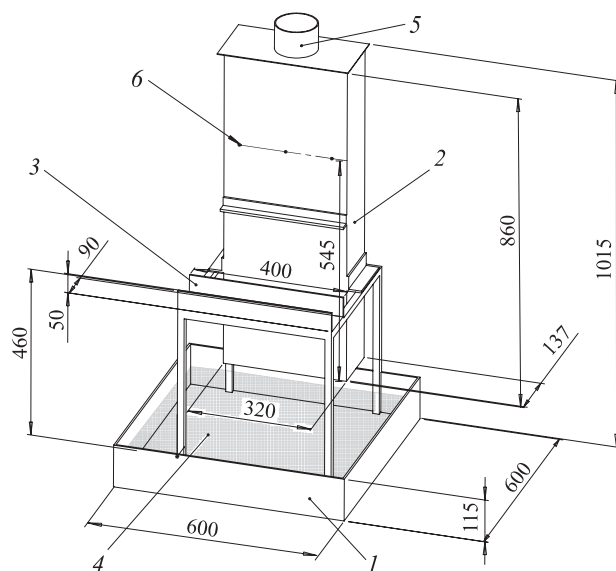


Рис. 5. Установка, моделирующая возможные типы горения масла на трансформаторе: 1 — поддон; 2 — емкость; 3 — швеллер; 4 — гравий; 5 — масло; 6 — отверстия

На фронтальной поверхности емкости просверлены три отверстия 6, моделирующие трещину в корпусе, через которую вытекает масло при пожаре.

Фрагмент стального швеллера 3 моделирует металлические элементы, подвергаемые нагреву в процессе горения масла в маслоприемнике и инициирующие возможное повторное возгорание масла после тушения.

Горение основания токоввода при его разрушении моделируется противнем 5 с маслом, установленным на крышку емкости.

Отношение площади поверхности, воспринимающей тепловой поток, к объему масла $S/V = 6...7 \text{ м}^{-1}$.

Работа установки начиналась с поджога масла в поддоне в верхней емкости, установленной на крышке. После возгорания пускового бензина (~1 мин) открывались отверстия в корпусе над горящим маслом в поддоне. В части экспериментов перед поджигом на крепежную раму помещался швеллер таким образом, чтобы потоки масла через отверстия попадали на его полку; воспроизводился также пожар с выбросом масла, но без газов, путем добавления в емкость с маслом около 0,1 л воды, которая при нагреве масла свыше 100°C вскипала и выбрасывалась через верхнюю крышку масло наружу.

В таблице представлены результаты экспериментов, которые являются обобщением опытов (не менее трех) с одними и теми же условиями проведения. Во всех опытах время свободного горения масла в основном поддоне составляло не менее 180 с. Причем за требуемое время тушения и охлаждения принималось то время прекращения горения, при котором не возникало повторного воспламенения после прекращения подачи ОТВ. Экспериментальные работы проводились при использовании в качестве ОТВ воды из пожарно-хозяйственного водопровода.

Из таблицы видно, что наибольшее время тушения и охлаждения составляет 105 с при использовании тонкораспыленной воды.

По результатам более 40 опытов были получены средние значения времени тушения и охлаждения элементов и фрагментов трансформатора тонкорас-

Время тушения и охлаждения частей трансформатора при интенсивности орошения $J = 0,04...0,05 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$

Условия проведения тушения	Время тушения поддона, с	Время тушения и охлаждения, с	Скорость нагрева, $^\circ\text{C}/\text{с}$
Горение в поддоне и на поверхности емкости	46	46	0,27
Горение с выплеском масла на 25-й секунде	49	49	0,29–0,45
Горение в поддоне и на швеллере	32	105	До 0,4
	27	59	0,35
Горение в поддоне, на элементах крепления и истекающего из щелей корпуса трансформатора масла	30	95	0,40
Горение в поддоне с гравием	49	49	0,25

пыленной водой $\bar{\tau} \cong 68$ с. При задании требуемого риска ξ , т. е. вероятности того, что условие $\tau < \bar{\tau}$ не будет достаточным для успешного тушения и охлаждения трансформатора, расчетное время тушения можно определить аналитически:

$$\tau = \bar{\tau} \ln(1/\xi). \quad (2)$$

Это выражение в какой-то мере отражает доминирующую роль случайных факторов в процессе тушения пожара. По нашему мнению, для противопожарной защиты такого сложного объекта, как мощный трансформатор, аварийный режим которого обусловлен многими причинами, а в большинстве случаев их совокупностью, требуемый риск $\xi = 0,1$, т. е. при тушении 100 пожаров 10...12 пожаров не будут полностью потушены за расчетное время. Тогда время надежного тушения всех типов пожара с учетом охлаждения нагретых частей и фрагментов трансформатора без повторного возгорания при интенсивности подачи $J = 0,04...0,05$ л/(м²·с) составит при тушении ТРВ: $\tau = 68 \cdot 2,3 = 156,4 \approx 2,6$ мин.

На основании проведенных исследований была разработана, спроектирована, изготовлена, смонтирована и запущена в опытную эксплуатацию полно-размерная установка пожаротушения низкого давления (до 1,25 МПа), предназначенная для тушения трансформатора АТДЦТН 250000/220/110/10 на трансформаторной подстанции “Тула”.

Выводы

Тушение трансформатора неразрывно связано с охлаждением нагретых тепловым потоком частей и

элементов трансформатора, причем необходимость охлаждения металлических частей в несколько раз увеличивает потребное время подачи тонкораспыленной воды по сравнению с временем тушения масла на горизонтальной поверхности поддона.

Время надежного тушения и охлаждения нагретых частей трансформатора до температуры ниже температуры самовоспламенения масла для потока тонкораспыленной воды составляет ~156 с.

Выброс масла при газообразовании в корпусе трансформатора (без участия горения газов пиролиза) и случайное усиление тепловыделения при пожаре не приводит к увеличению потребного времени подачи ТРВ относительно полученных значений с вероятностью не менее 0,9.

Температура поверхности трансформатора, обращенной к маслу, может быть равной 340...380 °С, т. е. близкой к температурам начала кипения масла (300...400 °С). Переход к пленочному кипению для рассматриваемого случая маловероятен.

Измеренные значения теплового потока q_{exp} , поступающего на разогрев стенки швеллера, составляют 100...120 кВт/м², что больше в 1,6 раза по сравнению с разогревом вертикальной стенки трансформатора (60...75 кВт/м²).

Измеренные значения теплового потока q_{exp} при охлаждении швеллера струей газокapельного потока составляют 35...50 кВт/м².

Проведенные исследования позволяют снизить нормативную интенсивность орошения водой трансформатора в 2 раза при тушении тонкораспыленной водой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов В. В., Тузов А. Н., Гришин В. В., Камышев В. Н. Автоматическое водяное пожаротушение с применением тонкораспыленной воды на электростанциях // Энергетик. — 2008. — № 6. — С. 37–38.
2. Abbud-Madrid A., Watson D., McKinnon J. T. On the effectiveness of carbon dioxide, nitrogen and water mist for the suppression and extinction of spacecraft fires // Suppression and Detection Research and Applications Conference. — USA, Orlando, 2007. — P. 217–223.
3. Carriere T., Butz J. R., Naha S., Brewer A., Abbud-Madrid A. Fire suppression tests using a handheld water mist extinguisher designed for the International space station // 42nd International Conference on Environmental Systems. USA, California, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2012, pp. 115–118. DOI: 10.2514/6.2012-3513.
4. Branelle Rodriguez, Gina Young. Development of the International space station fine water mist portable fire extinguisher // 43rd International Conference on Environmental Systems. — CO, Vail, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2013. DOI: 10.2514/6.2013-3413.
5. Корольченко Д. А., Громоной В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Вестник МГСУ. — 2011. — № 1-2. — С. 331–335.
6. Карпышев А. В., Душкин А. Л., Рязанцев Н. Н., Афанасьев А. А., Матушкин В. В., Сегаль М. Д. Разработка высокоэффективного универсального огнетушителя на основе генерации струй тонкораспыленных огнетушащих веществ // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 2. — С. 69–73.

7. Пат. 2545283 С1 Российская Федерация. МПК В05В 1/14. Распылитель жидкости / Душкин А. Л., Рязанцев Н. Н., Ловчинский С. Е. — № 2014103561/05; заявл. 04.02.2014; опубл. 27.03.2015, Бюл. № 9.
8. Андрияшкин А. Ю., Пелех М. Т. Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 64–69.
9. Сегаль М. Д. Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты кабельных сооружений АЭС // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2011. — № 4. — С. 61–64.
10. Копылов Н. П., Чибисов А. Л., Душкин А. Л., Кудрявцев Е. А. Изучение закономерностей тушения тонкораспыленной водой модельных очагов пожара // Пожарная безопасность. — 2008. — № 4. — С. 45–58.
11. Корольченко Д. А. Изменение характеристик горения горючей жидкости при тушении тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 79–80.
12. Руководство по определению параметров автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой. — Введ. 10.12.2002. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2004.

Материал поступил в редакцию 16 ноября 2015 г.

Для цитирования: Душкин А. Л., Ловчинский С. Е., Рязанцев Н. Н. Экспериментальные исследования метода подавления возгорания маслонаполненного трансформатора тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 54–60. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.54-60.

English

EXPERIMENTAL RESEARCH OF OIL FILLED TRANSFORMER FIRE WATER MIST SUPPRESSION METHOD

DUSHKIN A. L., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Senior Researcher, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Volokolamskoye Shosse, 4, GSP-3, Moscow, 125993, Russian Federation)

LOVCHINSKIY S. Ye., Engineer, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Volokolamskoye Shosse, 4, GSP-3, Moscow, 125993, Russian Federation; e-mail address: Lovchinskiy@inbox.ru)

RYAZANTSEV N. N., Senior Researcher, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Volokolamskoye Shosse, 4, GSP-3, Moscow, 125993, Russian Federation)

ABSTRACT

Oil filled transformer fire protection with automatic systems applied is connected with the problems of reducing both a desired fire extinguishing agent amount and power capacity for system device actuation.

A possibility of lowering water mist spray intensity over transformer surfaces has been considered.

A technique research of transformer structural component fire suppression and cooling at a prototype system similar to a real one by heat fluxes was allowed to specify the time of effective fire fighting and cooling of heated transformer components up to the temperature lower than that of oil self-ignition for a water mist flow.

The paper shows that transformer oil fire suppression is closely connected with cooling of heated due to heat fluxes transformer parts and components, the necessity of cooling metal parts is making the desired fire extinguishing agent delivery time greater by several fold as compared with that of oil fire suppression on a horizontal oil header surface.

Keywords: water mist; extinguishment; cooling; spray intensity; oil filled transformer.

REFERENCES

1. Sokovikov V. V., Tugov A. N., Grishin V. V., Kamyshev V. N. Avtomaticheskoye vodyanoye pozharotusheniye s primeneniym tonkoraspylennoy vody na elektrostantsiyakh [Automatic water-based fire suppression with using water spray in power stations]. *Energetik — Power & Electrical Engineering*, 2008, no. 6, pp. 37–38.
2. Abbud-Madrid A., Watson D., McKinnon J. T. On the effectiveness of carbon dioxide, nitrogen and water mist for the suppression and extinction of spacecraft fires. *Suppression and Detection Research and Applications Conference*. USA, Orlando, 2007, pp. 217–223.
3. Carriere T., Butz J. R., Naha S., Brewer A., Abbud-Madrid A. Fire suppression tests using a handheld water mist extinguisher designed for the International space station. *42nd International Conference on Environmental Systems*. USA, California, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2012, pp. 115–118. DOI: 10.2514/6.2012-3513.
4. Branelle Rodriguez, Gina Young. Development of the International space station fine water mist portable fire extinguisher. *43rd International Conference on Environmental Systems*. CO, Vail, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2013. DOI: 10.2514/6.2013-3413.
5. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysootnykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Vestnik MGSU — Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2011, no. 1-2, pp. 331–335.
6. Karpyshev A. V., Dushkin A. L., Ryazantsev N. N., Afanasyev A. A., Matushkin V. V., Segal M. D. Razrabotka vysokoeffektivnogo universalnogo ognetyshitelya na osnove generatsii struy tonkoraspylennykh veshchestv [Development of the highly effective universal fire extinguisher on basis of generation of sprayed streams of the extinguishing substances]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 2, pp. 69–73.
7. Dushkin A. L., Ryazantsev N. N., Lovchinskiy S. Ye. Raspylitel zhidkosti [Liquid atomizer]. Patent RU, no. 2545283, 27.03.2015.
8. Andryushkin A. Yu., Peleh M. T. Effektivnost pozharotusheniya tonkoraspylennoy vodoy [Efficiency of the stewing fire by sprayed water]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere — Control Risks Issues in Technosphere*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 64–69.
9. Segal M. D. Ispolzovaniye tonkoraspylennoy vody dlya povysheniya protivopozharnoy zashchity kabelnykh sooruzheniy AES [The water mist system for cable construction of nuclear power plant fire protection]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Safety and Emergencies Problems*, 2011, no. 4, pp. 61–64.
10. Kopylov N. P., Chibisov A. L., Dushkin A. L. Izucheniye zakonomernostey tusheniya tonkoraspylennoy vodoy modelnykh ochagov pozhara [Studying of suppression regularities by sprayed water of model fire seats]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2008, no. 4, pp. 45–58.
11. Korolchenko D. A. Izmeneniye kharakteristik goreniya goryuchey zhidkosti pri tushenii tonkoraspylennoy vodoy [Changes in burning characteristics of the combustible liquid during suppression by finely atomized water]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 79–80.
12. *Guide to determine parameters of automatic water mist fire extinguishing systems*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2004 (in Russian).

For citation: Dushkin A. L., Lovchinskiy S. Ye., Ryazantsev N. N. Eksperimentalnyye issledovaniya metoda podavleniya vozgoraniya maslonapolnennogo transformatora tonkoraspylennoy vodoy [Experimental research of oil filled transformer fire water mist suppression method]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 54–60. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.54-60.