

Д.Д. Абраков, А.А. Бородин, В.В. Булатова, А.А. Корнилов, А.В. Шнайдер
(Уральский институт ГПС МЧС России; e-mail: kornilov_alexeil@mail.ru)

ОБ ОЦЕНКЕ ИНЕРЦИОННОСТИ СПРИНКЛЕРНОГО ОРОСИТЕЛЯ

Приведён анализ нормативных требований в области проектирования установок пожаротушения. Выявлена необходимость проведения расчётного обоснования в случае применения установок спринклерного пожаротушения в качестве средства обнаружения пожара. Выявлено существование зависимости инерционности колбы оросителя от температурного режима в помещении пожара.

Ключевые слова: спринклер, инерционность спринклерного оросителя.

D.D. Abrakov, A.A. Borodin, V.V. Bulatova, A.A. Kornilov, A.V. Shnajder **ABOUT EVALUATION OF THE SPRINKLERS INERTIA**

It is introduced the analysis of the thermal locks tests techniques in the design of fire suppression systems. It is found out the need for calculation justification in the case of sprinkler systems as a means of fire detection. It is revealed the existence of inertia dependence on the sprinkler bulb on the temperature in the room of fire.

Key words: sprinkler, sprinkler inertia.

В соответствии со ст. 52 Федерального Закона РФ от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ "**Технический регламент о требованиях пожарной безопасности**" (**Технический регламент**) [1] применение автоматических установок пожаротушения является одним из способов защиты людей и имущества от воздействия **опасных факторов пожара (ОФП)**. Необходимость устройства различных систем пожарной автоматики на сегодняшний день определяется требованиями нормативных документов. Недостаток этого способа заключается в том, что нормативный подход предполагает принятие решения на основании ряда формальных признаков и не позволяет учесть массу дополнительных факторов, способных повлиять на выбор технических решений.

Как отмечается авторами [2], существенным продвижением в направлении совершенствования нормативного подхода является переход к так называемой "адресной" или "целевой" системе нормирования, основным инструментом которой стал расчёт уровня обеспечения пожарной безопасности [3, 4], а с введением Технического регламента – величины индивидуального пожарного риска [5-7]. Однако, наличие систем пожаротушения в данных методиках учитывается только по формальному признаку, не принимая во внимание специфику их функционирования.

Согласно ст. 61 Технического регламента [1], применение автоматических и (или) автономных установок пожаротушения должно обеспечить достижение одной или нескольких из следующих целей:

- ликвидация пожара в помещении (здании) до возникновения критических значений ОФП;

- ликвидация пожара в помещении (здании) до наступления пределов огнестойкости строительных конструкций;
- ликвидация пожара в помещении (здании) до причинения максимально допустимого ущерба защищаемому имуществу;
- ликвидация пожара в помещении (здании) до наступления опасности разрушения технологических установок.

При этом, вопрос анализа эффективности применения (выбора) различных типов установок пожаротушения регламентируется требованиями п. 4.3 СП 5.13130.2009 [8] и ч. 3 ст. 61 Технического регламента [1], которые говорят о том, что тип установки пожаротушения, способ тушения, вид огнетушащего вещества определяются организацией-проектировщиком с учётом пожарной опасности и физико-химических свойств производимых, хранимых и применяемых веществ и материалов, объёмно-планировочных решений здания, параметров окружающей среды, а также особенностей защищаемого оборудования. В учебнике [9] представлена методика оценки необходимости устройства АУП, которая, однако, не рассматривает начальный период её функционирования с момента возникновения пожара до подачи огнетушащих веществ в очаг пожара. Таким образом, существующие методики расчёта индивидуального пожарного риска и подобных расчётных обоснований совершенно не рассматривают механизм функционирования АУП в начальный период развития пожара.

Одним из ключевых факторов при выборе типа АУП является время подачи огнетушащих веществ с момента возникновения пожара, поскольку это непосредственно влияет на время его свободного развития и прямой ущерб, следовательно, необходимо учитывать и особенности распространения ОФП. Время подачи огнетушащих веществ для спринклерной АУП будет складываться из времени до момента достижения пороговой температуры в месте установки оросителя (чаще всего в припотолочной зоне защищаемого помещения) и инерционности колбы оросителя, то есть времени с момента достижения температуры срабатывания до разрушения колбы и вскрытия клапана. Если для оценки времени достижения температуры срабатывания оросителя можно воспользоваться различными математическими моделями в соответствии с допустимой и эффективной областями их применения, то в качестве инерционности спринклера можно воспользоваться лишь нормативным значением номинального времени срабатывания, приведенного в ГОСТ Р 51043-2002 [10], которое установлено без учёта динамики ОФП и зависит только от температуры вскрытия колбы.

Таким образом, сведения об инерционности спринклерных оросителей необходимы для адекватной оценки целесообразности и эффективности внедрения спринклерной АУП, выполнения требований Технического регламента [1] и СП 5.13130.2009 [8] с учётом особенностей конкретного объекта.

Кроме того, в соответствии с требованиями ч. 4 ст. 83 Технического регламента [1] автоматические установки пожаротушения должны обеспечивать автоматическое обнаружение пожара. Вместе с тем, согласно ч. 1 ст. 54 Технического регламента, системы обнаружения при пожаре должны обеспечивать

автоматическое обнаружение за время, необходимое для включения систем оповещения в целях организации безопасной (с учётом допустимого пожарного риска) эвакуации людей для конкретного объекта.

Указанные требования относятся к числу обязательных, следовательно, подлежат выполнению согласно ч. 1 ст. 6 Технического регламента [1]. Из вышесказанного следует, что решения о применении АУП в качестве системы обнаружения пожара может быть подтверждено только посредством проведения расчёта, в противном случае инерционность спринклерного оросителя (для наиболее распространенных типов составляет 5 мин [10]) фактически может нивелировать запас времени, необходимый для эвакуации людей, что, в свою очередь, противоречит требованиям ч. 3 ст. 81 Технического регламента [1].

Особенно это актуально для административных зданий, поскольку в случае применения спринклерной АУП в качестве системы обнаружения пожара, что допускается сводом правил [8], время для безопасной эвакуации людей приблизительно будет представлять собой период с момента срабатывания оросителя (как правило, 57 °С или 68 °С) в припотолочной зоне помещения очага пожара до момента достижения предельной дальности видимости на уровне рабочей зоны.

Для офисных помещений с относительно небольшой высотой потолка этот промежуток времени может быть не так велик, особенно если учесть инерционность оросителя и время начала эвакуации людей. Запуск системы противодымной вентиляции, если таковая выполнена на объекте, также будет производиться только после срабатывания узла управления спринклерной АУП, поэтому вопрос обеспечения безопасной эвакуации полностью зависит от времени вскрытия оросителя.

Вышесказанное означает, что технико-экономическое обоснование, предусмотренное п. 4.4 СП 5.13130.2009 [8], позволяющее применять АУП вместо АПС, не может быть проведено без достоверных сведений об инерционности оросителей с учётом динамики ОФП. Более того, использование только нормативного подхода при выборе по приложению А к СП 5.13130.2009 [8] между АУП и АПС в пользу только одной из них на сегодняшний день не предполагает обоснований, хотя в некоторых случаях это решение может быть неверным, а выбранный нормативным путем комплекс автоматических систем – недостаточным для обеспечения безопасности людей.

Безусловно, более точным способом выбора комплекса автоматических систем противопожарной защиты является расчёт эвакуации с учётом инерционности оросителей и времени начала эвакуации, а также величины индивидуального пожарного риска, как этого требует формулировка, приведенная в скобках в ч. 1 ст. 54 Технического регламента [1], но методиками расчёта индивидуального пожарного риска [5-7] данный способ рассуждений, к сожалению, не регламентирован и может быть применен, на сегодняшний день, только в случае согласия надзорных органов для конкретного объекта.

На основании всего вышесказанного можно сделать вывод о необходимости проведения экспериментального исследования инерционности спринклерных оросителей с учётом динамики температуры в местах их установки и разработки инженерной методики расчёта, позволяющей оценить время срабатывания спринклерной АУП без применения сложных программных комплексов.

С целью теоретического подтверждения существования зависимости инерционности оросителя от скорости нарастания температуры был проведён **качественный** анализ процесса нагревания колбы. При этом построение математической модели процесса нагревания жидкости внутри колбы на данном этапе существенно осложнялось отсутствием точных сведений о составе жидкости и её теплофизических характеристиках. Поскольку колба оросителя представляет собой замкнутый объём, заполненный жидкостью, то разрушение стенок произойдет в случае, если давление внутри колбы превысит некое пороговое значение. В свою очередь, из закона Менделеева-Клайперона следует, что давление срабатывания будет создано при условии достижения определенной пороговой температуры жидкости. Таким образом, срабатывание оросителя напрямую зависит от скорости нарастания температуры внутри колбы.

Для проведения теоретического анализа была построена математическая модель, позволяющая в первом приближении оценить различие в скорости изменения температуры жидкости в колбе оросителя. Для оценки динамики температуры в конвективной колонке была применена зонная математическая модель [11]. Температура в конвективной колонке определялась по формуле:

$$T_k = T_0 + \frac{Q_{пож}(1-\chi)}{c_p G}, \quad (1)$$

где T_0 – начальная температура среды в помещении, K ;

$Q_{пож}$ – интенсивность тепловыделения, $Вт$, определяется по формуле (2);

χ – коэффициент теплоотдачи в строительные конструкции;

c_p – изобарная теплоёмкость газа, $Дж/(кг \cdot K)$;

G – расход газов через сечение струи, отстоящее от поверхности горения на расстоянии y , определяется по формуле (3), $кг/с$.

Интенсивность тепловыделения определяется по формуле:

$$Q_{пож} = \eta \psi_{yd} Q_n F, \quad (2)$$

где η – коэффициент полноты сгорания;

ψ_{yd} – удельная массовая скорость выгорания, $кг/(м^2 \cdot с)$;

Q_n – удельная низшая теплота сгорания, $Дж/кг$;

F – площадь пожара, $м^2$.

Расход газов через сечение струи определяются по формуле:

$$G = 0,21 \left[\frac{g \rho_0^2 Q_{пож}}{c_p T_0} (1-\chi) \right]^{\frac{1}{3}} \cdot (y + y_0)^{\frac{5}{3}}, \quad (3)$$

где ρ_0 – начальная плотность среды в помещении, $кг/м^3$;

y – координата сечения колонки, отсчитываемая от поверхности горения, $м$;

y_0 – расстояние от фиктивного источника тепла до поверхности горения, m , определяется по формуле:

$$y_0 = 1,5\sqrt{F}. \quad (4)$$

В основу модели одномерного прогрева стенки положен закон теплопроводности Фурье [12], связывающий между собой вектор плотности теплового потока и температурный градиент:

$$\vec{q} = -\lambda \text{ grad } t, \quad (5)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, $Bm/(m \cdot K)$.

Вектор \vec{q} нормален к изотермической поверхности и направлен в сторону убывания температуры, а вектор температурного градиента направлен в противоположную вектору \vec{q} сторону, что учитывается знаком минус в правой части формулы (5).

Рассмотрим круговую цилиндрическую стенку колбы (рис. 1) с внутренним радиусом r_1 и наружным радиусом r_2 при условии, что коэффициент теплопроводности λ материала колбы (стекла) – постоянная величина. Температура в стенке изменяется только в радиальном направлении. В цилиндрической системе координат температурное поле является одномерным.

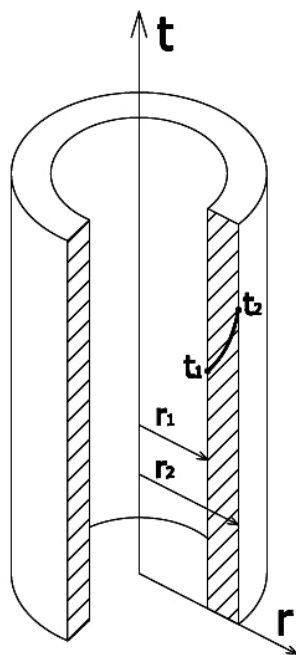


Рис. 1. Схема теплообмена через цилиндрическую стенку

Пусть будут заданы начальная температура среды, омывающей внутреннюю поверхность колбы, $t_{ж}$ и температура парогазовой среды снаружи колбы T_k , равная температуре в конвективной колонке на уровне спринклерного оросителя. При этом в процессе нагревания соблюдается условие: $T_k > t_{ж}$. Коэффициенты теплоотдачи от внутренней поверхности стенки $\alpha_{вн}$ и от нагретой парогазовой среды стенке колбы $\alpha_{нар}$ примем постоянными по справочной литературе.

Количество теплоты Q , передаваемое за время τ через стенку колбы, будет равно:

$$Q = 2\pi r_1 l q_1 \tau = 2\pi r_2 l q_2 \tau, \quad (6)$$

где q_1 – плотность теплового потока при $r = r_1$, то есть на внутренней поверхности колбы;

q_2 – плотность теплового потока при $r_1 = r_2$, то есть на внешней поверхности колбы;

l – высота колбы, м.

Тепловой поток через стенку колбы определяется формулой:

$$q = \frac{l \cdot (T_{\kappa} - t_{\text{вн}})}{\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\pi r_1 \lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 \alpha_{\text{нар}}}}. \quad (7)$$

Подставляя формулу (7) в (6) получим количество теплоты, передаваемой от внутренней стенки колбы к жидкости, которой наполнена колба:

$$Q = \frac{2\pi r_1 l \cdot (T_{\kappa} - t_{\text{ж}}) \cdot \tau}{\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\pi r_1 \lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 \alpha_{\text{нар}}}}. \quad (8)$$

Вместе с тем, количество тепла, затраченное для нагрева жидкости в колбе оросителя, можно выразить следующим образом:

$$Q = m_{\text{жс}} \cdot c_{\text{жс}} \cdot (t_{\text{ж2}} - t_{\text{ж1}}), \quad (9)$$

где $m_{\text{жс}}$ – масса жидкости в колбе, кг;

$c_{\text{жс}}$ – теплоёмкость жидкости в колбе, Дж/(кг·К);

$t_{\text{ж1}}$ и $t_{\text{ж2}}$ – температура жидкости, соответственно, до и после нагрева, К.

Формула (7) позволяет описать процесс теплопередачи для стационарных и однородных граничных условий, тогда как температура среды, омывающей стенку колбы снаружи, увеличивается по заранее известному закону. Примем допущение о том, что на отрезке времени $d\tau$ изменение температуры среды вокруг колбы равно нулю, коэффициенты теплопередачи и теплопроводности не изменяются, внутри колбы жидкость нагревается на dt . Тогда для бесконечно малого промежутка времени правые части уравнений (8) и (9) можно приравнять:

$$\frac{2\pi r_1 l \cdot (T_{\kappa} - t_{\text{ж}}) \cdot d\tau}{\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\pi r_1 \lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 \alpha_{\text{нар}}}} = m_{\text{ж}} \cdot c_{\text{ж}} \cdot dt_{\text{ж}}. \quad (10)$$

Температура в конвективной колонке на уровне оросителя может быть определена по формуле:

$$T_{\kappa} = T_0 + \frac{\eta \Psi_{\text{yd}} Q_{\text{н}} 0,25 \pi (v_{\text{л}} d\tau)^2 \cdot (1 - \chi)}{c_p \cdot 0,21 \left[\frac{g \rho_0^2 \eta \Psi_{\text{yd}} Q_{\text{н}} 0,25 \pi (v_{\text{л}} d\tau)^2}{c_p T_0} (1 - \chi) \right]^{\frac{1}{3}} \cdot (y + 1,3 v_{\text{л}} d\tau)^{\frac{5}{3}}}. \quad (11)$$

Подставим формулу (11) в уравнение (10), в результате получим:

$$2\pi r_1 l \cdot \left[\left(T_0 + \frac{\eta \psi_{y0} Q_H 0,25\pi (v_{л} d\tau)^2 \cdot (1-\chi)}{c_p \cdot 0,21 \left[\frac{g \rho_0^2 \eta \psi_{y0} Q_H 0,25\pi (v_{л} d\tau)^2}{c_p T_0} (1-\chi) \right]^{\frac{1}{3}} \cdot (y+1,3v_{л} d\tau)^{\frac{5}{3}}} \right) - t_{жк} \right] \cdot d\tau = m_{жк} \cdot c_{жк} \cdot dt_{жк} \quad (12)$$

$$\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_{вн}} + \frac{1}{2\pi r_1 \lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 \alpha_{нар}}$$

Интегрирование выражения (12) нецелесообразно, поэтому в целях упрощения решения задачи применим метод Эйлера с шагом интегрирования 0,1 с, что позволит обеспечить достаточно высокую точность расчётов. Решим уравнение (12) относительно температуры жидкости внутри колбы:

$$2\pi r_1 l \cdot \left[\left(T_0 + \frac{\eta \psi_{y0} Q_H 0,25\pi (v_{л} d\tau)^2 \cdot (1-\chi)}{c_p \cdot 0,21 \left[\frac{g \rho_0^2 \eta \psi_{y0} Q_H 0,25\pi (v_{л} d\tau)^2}{c_p T_0} (1-\chi) \right]^{\frac{1}{3}} \cdot (y+1,3v_{л} d\tau)^{\frac{5}{3}}} \right) - t_{жк} \right] \cdot d\tau = m_{жк} \cdot c_{жк} \cdot dt_{жк} \quad (13)$$

$$\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_{вн}} + \frac{1}{2\pi r_1 \lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 \alpha_{нар}}$$

В качестве начальных условий примем равенство температуры среды в помещении и жидкости в колбе оросителя: $\tau = 0$; $T_k = t_{жк} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Поскольку целью теоретического анализа является только *качественное* исследование процесса, то величину теплоемкости жидкости колбы примем равной, например, теплоемкости воды. В этом случае нельзя судить о динамике абсолютных величин температуры жидкости в колбе, поэтому рассмотрим отношение температуры жидкости колбы $t_{жк}$ и температуры в конвективной колонке T_k на уровне оросителя.

Расчёт произведем для помещения высотой 3 м. Вид горючей нагрузки определялся по характеристике теплопроизводительности очага пожара, в результате анализа имеющихся данных о пожарной нагрузке [11] были выбраны два вида горючих материалов: телефонный кабель ТПВ и верхняя одежда. Основные результаты расчёта показателя $t_{жк}/T_k$ отразим на графике (рис. 2).

Если дополнительно оценить различие между полученными характеристиками динамики температур жидкости колбы, определим отношение полученных величин $t_{жк}/T_k$ для различной пожарной нагрузки и отобразим на графике (рис. 3).

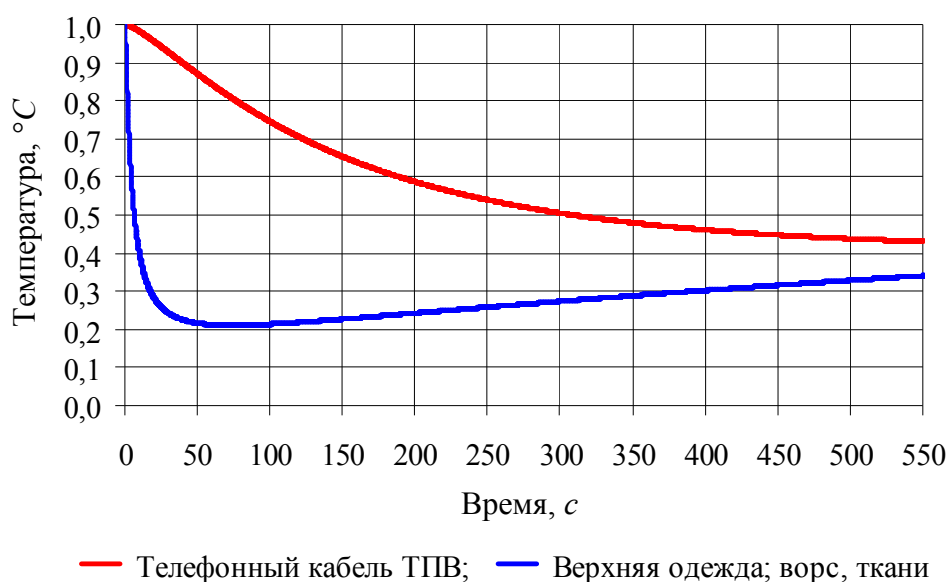


Рис. 2. Динамика показателя $t_{Ж}/T_k$ для различной пожарной нагрузки

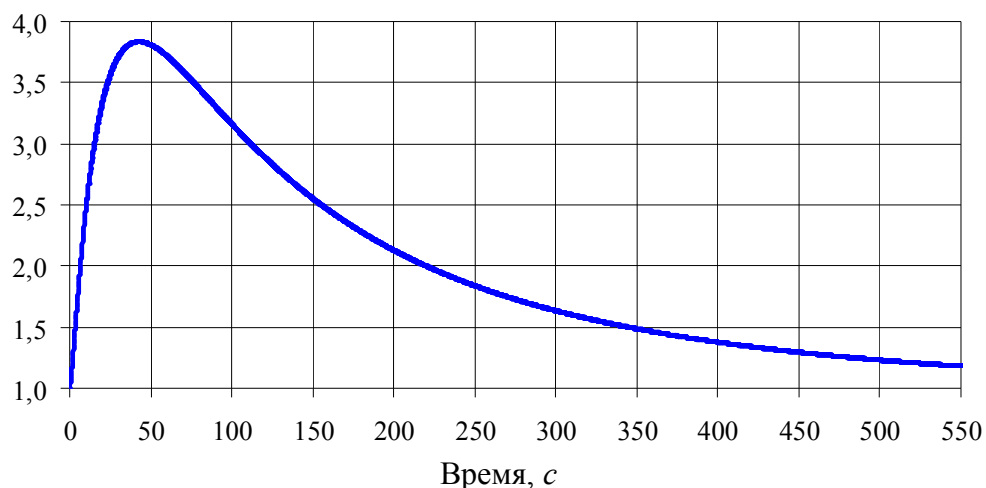


Рис. 3. Отношение параметров $t_{Ж}/T_k$ для различной пожарной нагрузки в зависимости от времени

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Оценивать время срабатывания оросителя путем сложения времени достижения температуры, указанной в паспорте, и "стандартной" инерционности по ГОСТ Р 51043-2002 [10] недопустимо, поскольку согласно рис. 2 отношение температуры среды в конвективной колонке на уровне оросителя и температуры жидкости внутри колбы в значительной степени зависит от целого ряда факторов: вида пожарной нагрузки, размеров помещения и объёмно-планировочных решений, высоты установки оросителя и т.п.

2. Сумма времени достижения парогазовой средой температуры срабатывания оросителя и времени достижения температуры жидкости, при которой происходит разрушение колбы, будет различной в зависимости от вида пожарной нагрузки.

3. По мере развития пожара соотношения рассматриваемых температур для различных видов пожарной нагрузки приближаются друг к другу, следовательно, существенное различие в тепловом режиме наблюдается в течение нескольких минут на начальной стадии развития пожара, приблизительно в период достижения порога срабатывания оросителя.

4. Оценка инерционности спринклерных оросителей может быть проведена экспериментальным путём для различной интенсивности теплового воздействия на колбу оросителя.

На основании нормативного и теоретического анализа можно сделать вывод о том, что в случае применения установок спринклерного пожаротушения в качестве средства обнаружения пожара следует выполнять расчётное обоснование безопасной эвакуации людей. В свою очередь, проведение подобных расчётов возможно только с учётом инерционности спринклерного оросителя, на которую существенное влияние могут оказать горячая нагрузка и объёмно-планировочные решения объекта.

Литература

1. **Федеральный закон** от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

2. **Глуховенко Ю. М., Коробко В.Б.** Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: первый опыт применения при проектировании и экспертизе проектной документации // Пожаровзрывобезопасность. 2009. № 4. С. 4-12.

3. **ГОСТ 12.1.004-91***. Пожарная безопасность. Общие требования.

4. **ГОСТ 12.3.047-98**. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

5. **Приложение** к приказу МЧС России № 382 от 30.06.2009: "Методика определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности".

6. **Приложение** к приказу МЧС России № 749 от 12.12.2011: "Изменения, вносимые в методику определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденную приказом МЧС России от 30.06.2009 № 382".

7. **Приложение** к приказу МЧС России от 10 июля 2009 № 404 "Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах".

8. **СП 5.13130.2009**. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.

9. **Производственная** и пожарная автоматика. Ч. 2. Автоматические установки пожаротушения: Учебник / Бабуров В.П., Бабурин В.В., Фомин В.И., Смирнов В.И. М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. 298 с.

10. **ГОСТ Р 51043-2002**. "Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний" (принят постановлением Госстандарта РФ от 25 июля 2002 г. № 287-ст).

11. **Кошмаров Ю.А.** Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.

12. **Кошмаров Ю.А., Башикирцев М.П.** Термодинамика и теплопередача в пожарном деле: Учебник. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987. 444 с.

Статья опубликована 20 декабря 2012 г.