

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)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИНЕРЦИОННОСТИ СПРИНКЛЕРНЫХ ОРОСИТЕЛЕЙ

Проведён анализ методик испытаний теплового замка спринклерного оросителя. Приведены основные результаты испытаний спринклерных оросителей с температурой срабатывания 57 °С.

Ключевые слова: спринклер, инерционность спринклерного оросителя.

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

Analysis of testing methods of thermal lock sprinklers . It is introduced the main results of sprinkler operation tests with the temperature 57 °С.

Key words: sprinkler, sprinkler inertia.

В рамках работы по оценке инерционности спринклерных оросителей, сведения о которой необходимы для инженерного обоснования применения **установок спринклерного пожаротушения (АУП)** в качестве средств обнаружения пожара, была поставлена задача экспериментального определения времени вскрытия колбы в зависимости от скорости нарастания температуры. Под инерционностью теплового замка спринклерного оросителя понимается промежуток времени между достижением паспортной температуры срабатывания оросителя и разрушением колбы.

Актуальность данного вопроса обусловлена тем, что включение системы оповещения происходит после вскрытия колбы оросителя, то есть зависит не только от номинальной температуры срабатывания, но и скорости её нарастания в месте установки оросителя. Сравнивая ориентировочное время вскрытия колбы (может составлять около 300 с согласно [1]) с временем начала эвакуации, указанным в приложении 1 к методике расчёта индивидуального пожарного риска [2, 3], можно сделать вывод, что инерционностью оросителя пренебрегать нельзя, поскольку она существенно влияет на выполнение условие безопасной эвакуации людей.

В результате выполнения данной работы предполагалось получение относительно простой аналитической зависимости, позволяющей вычислить время вскрытия спринклерного оросителя и запуска системы оповещения и управления эвакуацией с момента возникновения пожара, тем самым обосновать возможность применения спринклерной АУП в качестве средства обнаружения возгорания.

Краткий обзор существующих методик испытаний оросителей

Проанализированы существующие методики испытаний теплового замка (колбы) спринклерного оросителя. На сегодняшний день они представлены в целом ряде нормативных отечественных и зарубежных документов.

Например, согласно ГОСТ Р 51043-2002 [1] и НПБ 87-01 [4], проверку температуры срабатывания проводят путем нагрева оросителей в жидкой ванне с рабочим телом объёмом не менее 3 дм^3 на каждый ороситель от температуры $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ до температуры на $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ ниже номинальной температуры срабатывания со скоростью не более $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$. Ороситель при этой температуре выдерживают в течение не менее 10 мин , а затем температуру повышают с постоянной скоростью не более $1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ до тех пор, пока тепловой замок не разрушится.

В реальных условиях пожара на колбу будут воздействовать нагретые продукты горения, имеющие отличную от воды плотность, теплопроводность, теплоемкость и интенсивность теплопередачи. Вследствие чего возникнет различие в скорости прогрева жидкости, находящейся в колбе, и, соответственно, времени вскрытия последней. Также нагретая в ванне жидкость воздействует равномерно по всей площади колбы и не учитывается направление конвективных потоков, например, снизу вверх, где на пути продуктов горения, как правило, размещается конструктивный элемент оросителя – розетка. Следовательно, интенсивность прогрева будет отличаться от условий реального пожара.

Кроме того, в приложении А к [1] представлена методика определения коэффициента тепловой инерционности спринклерных оросителей. Причем параметры, входящие в формулу по определению коэффициента, определяют посредством проведения испытаний оросителей на тепловое воздействие потока воздуха с постоянными значениями температуры и скорости. Испытания проводят путём внесения (за время не более 2 с) оросителя в рабочий участок испытательного канала при скорости воздушного потока v_0 от $(2,4 \pm 0,1)$ до $(2,6 \pm 0,1) \text{ м/с}$ с заданной температурой, которую выбирают в зависимости от номинальной температуры срабатывания оросителей.

Данная методика более приближена к условиям реального пожара, по сравнению с предыдущей, так как на ороситель воздействует нагретый воздушный поток. Также варьируется положение оросителя относительно направления этого потока, тем самым учитывается влияние розетки и дужек оросителя на прогрев колбы. Однако и она рассчитана на создание стандартных условий, которые позволяют лишь сравнивать оросители между собой, но не моделировать процесс нарастания температуры продуктов горения в помещении пожара.

Методика НПБ 68-98 [5] в большей степени приближена к условиям пожара. Для испытания инерционности оросителя моделируется помещение геометрическими размерами: длина – $(4,6 \pm 0,1) \text{ м}$, ширина – $(4,6 \pm 0,1) \text{ м}$, высота – $(2,4 \pm 0,1) \text{ м}$. В одном из его углов располагают тестовый очаг пожара: песочную печь, в которой происходит сжигание природного газа или метана с расхо-

дом $9,6 \text{ м}^3/\text{ч} \pm 5 \%$ и $26 \text{ м}^3/\text{ч} \pm 5 \%$ в зависимости от температуры срабатывания. Указанный способ также предполагает проведение испытаний в стандартных условиях и не позволяет применить полученные данные для объекта с иными объёмно-планировочными решениями и пожарной нагрузкой.

В качестве примера зарубежной методики испытания термочувствительного элемента оросителя можно привести "Стандарт по предупреждению потерь/LPS 1039: ISSUE 5.1 [6]. В данном нормативном документе представлены методики испытаний как в воде, аналогично [1, 4], так и в нагретом воздушном потоке в аэродинамической трубе. Последняя представляет наибольший интерес, поскольку имеет следующие особенности:

- предполагает 4 различных варианта ориентирования оросителя относительно направления воздушного потока (воздушный поток воздействует напрямую на колбу, через конструкцию корпуса оросителя, через розетку спринклерного оросителя, через трубопровод);

- оросители должны быть подвергнуты устойчиво увеличивающейся температуре воздушного потока ($2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$, $12 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$, $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$).

- тепловые замки спринклерных оросителей должны быть испытаны с каждой скоростью возрастания температуры (2 плавкие вставки; 3 стеклянные колбы).

Указанная методика позволяет более детально исследовать условия срабатывания оросителя, однако, моделируемая динамика температуры будет отличаться от той, которая возникает в конвективной колонке очага пожара, что не позволит в полной мере использовать полученные экспериментальные данные.

Рассмотрев основные методики испытаний, можно прийти к выводу, что нормативные документы действительно позволяют оценивать инерционность спринклерных оросителей, однако, условия проведения каждого из испытаний приведены к определенному стандартному виду и не позволяют применить полученные сведения об инерционности к любому помещению.

Теоретические предпосылки методики испытаний

При разработке методики основной целью было установить соответствие между скоростью нарастания температуры в месте установки оросителя и инерционностью колбы оросителя. Влияние таких факторов, как вида горючей нагрузки, неравномерности распределения температуры по высоте помещения, места установки оросителя относительно предполагаемого очага пожара и т.п. при проведении эксперимента должны быть учтены посредством создания определенного температурного режима. В основу методики эксперимента были положены следующие условия:

- поскольку динамика температуры в месте установки оросителя, зависящая от целого ряда факторов, не является целью экспериментального исследования, то она может быть предварительно определена с помощью математической модели, достаточно достоверно описывающей указанный процесс;

- комбинация различных исходных данных (удельная теплота сгорания, линейная скорость распространения пожара, массовая скорость выгорания, высота помещения пожара и т.п.) может привести к получению сходной динамики температуры в месте установки оросителя, поэтому привязка эксперимента к конкретной пожарной нагрузке или размерам помещения не производилась;

- существенную роль в процессе теплообмена играют теплофизические свойства среды, окружающей колбу, в связи с чем было исключено использование нагретой жидкости или электронагревателя для обогрева колбы, вместо них применена горелка со сжиженным газом, состав продуктов сгорания которого в большей степени соответствует составу среды в помещении пожара (за исключением частиц дыма);

- срабатывание оросителя обусловлено механическим разрушением стенки колбы, поэтому в целях приближения условий проведения эксперимента к реальным колба в процессе нагрева должна быть подвержена воздействию статического избыточного давления (около 0,2 МПа), достаточного для срабатывания узла управления спринклерной АУП;

- создание минимального требуемого давления позволит получить максимальное значение инерционности; задача по изучению зависимости инерционности от величины избыточного давления не ставилась;

- поскольку нормативное расстояние между оросителями относительно невелико, то в начальный период возникновения и развития пожара предполагается, что спринклер будет находиться в области конвективной колонки очага;

- ориентация оросителя, а соответственно и колбы, относительно направления конвективного потока была выбрана аналогично наиболее распространенному способу установки в защищаемом помещении, а именно, розеткой вниз, что предполагает учет её экранирующего действия;

- для наиболее полного моделирования процесса теплообмена был предусмотрен залив воды в патрубков, к которому присоединен ороситель;

- испытанию подвергались спринклерные оросители серийного производства, широко используемые при монтаже АУП.

Для приблизительной оценки динамики температуры в конвективной колонке была проведена серия численных экспериментов на основании зонной математической модели [7], которая с достаточной степенью точности позволяет оценить скорость изменения температуры в припотолочной зоне, где, как правило, размещаются оросители спринклерной установки пожаротушения. Результаты расчётов представлены на рис. 1. Кривые характеризуют скорость нарастания температуры при прочих равных условиях (не принимая во внимание горение ЛВЖ и ГЖ, для которых скорость распространения пламени значительно выше, чем для твердых горючих материалов) в помещении высотой 3,5 м.

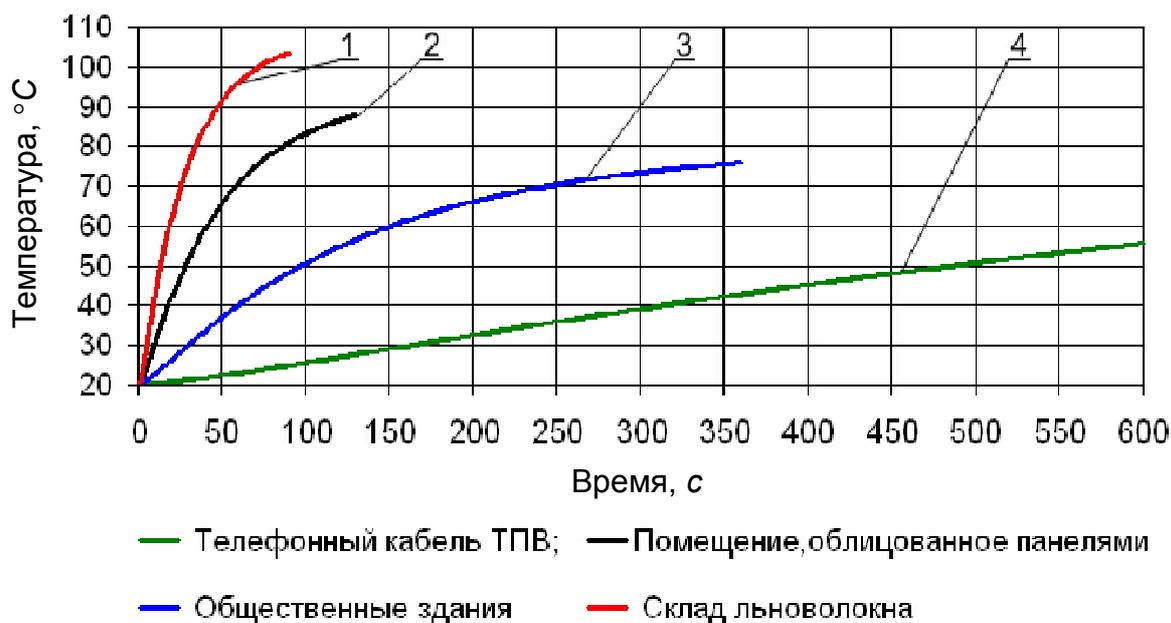


Рис. 1. График изменения температуры в припотолочной зоне конвективной колонки в зависимости от вида горячей нагрузки

Интенсивность нарастания температуры моделируется посредством регулирования скорости подачи топлива на газовой горелке.

Конструкция экспериментальной установки

Установка (рис. 2) разрабатывалась на основании теоретических предположений, изложенных выше. Основной задачей являлось создание устойчивой (без существенных колебаний) динамики температуры. Для чего была изготовлена испытательная камера, исключая стороннее воздействие воздушных потоков на конвективную колонку.

Основным элементом установки являлась испытательная камера (2), имеющая светопрозрачную переднюю стенку для визуального осмотра состояния оросителя. В нижней стенке камеры предусмотрено отверстие для установки газовой горелки. В крышке камеры жестко закреплен патрубок (5) длиной 0,1 м, к которому с помощью крестовины присоединены манометр (6), пробка (7) и устройство для подключения компрессора (8). К измерительным приборам и устройствам установки относятся: термopара (3), расположенная на уровне колбы, усилитель сигнала (10), аналого-цифровой преобразователь (11) и персональный компьютер с необходимым программным обеспечением (12). Устройства 4, 5, 6, 7 и 8 образуют герметичную систему, способную выдерживать избыточное давление не менее 0,1 МПа. Газовая горелка устанавливалась под камерой таким образом, чтобы пламя горелки через отверстие в нижней стенке испытательной камеры (2) обогревало ороситель. Высота размещения горелки в отверстии выбиралась таким образом, чтобы непосредственно в зону горения газа мог поступать воздух из внешней среды, тем самым выгорание кислорода внутри самой камеры не влияло на массовую скорость сгорания газа.

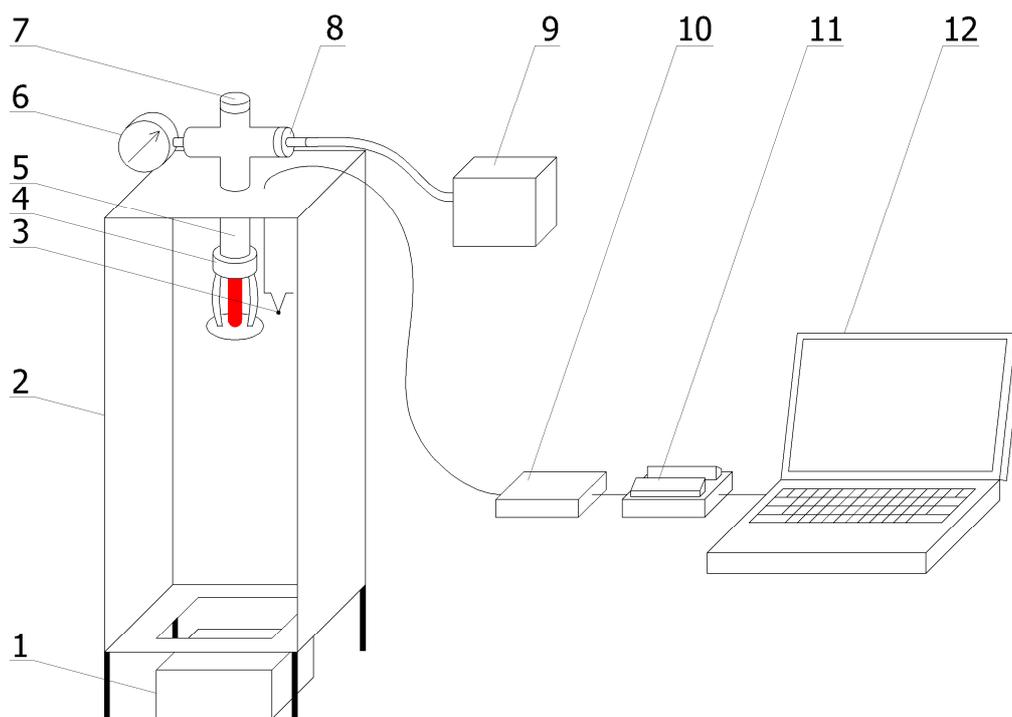


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:
 1 – газовая горелка; 2 – испытательная камера; 3 – термопара;
 4 – спринклерный ороситель; 5 – патрубок для наполнения водой;
 6 – манометр; 7 – заглушка; 8 – устройство для подключения компрессора;
 9 – компрессор; 10 – усилитель сигнала; 11 – аналого-цифровой преобразователь; 12 – персональный компьютер

Порядок проведения испытания

Спринклерный ороситель (4) подсоединялся к патрубку (5). Через отверстие, закрываемое пробкой (7), в патрубок (5) заливалась вода до крестовины, после чего отверстие герметично закрывалось. К устройству (8) подключался компрессор, с помощью которого создавалось избыточное давление не менее 0,1 МПа над зеркалом жидкости, находящейся в патрубке (5). Манометр (6) позволяет визуально контролировать величину избыточного давления над оросителем в процессе проведения эксперимента.

С момента зажигания газовой горелки засекалось время, в течение которого производился нагрев. В ходе проведения эксперимента такие параметры, как текущее время и температура, фиксировались с помощью программного обеспечения на ПЭВМ.

После срабатывания оросителя (вскрытия колбы) фиксировалось время и прекращалась подача газа. После окончания эксперимента верхняя крышка камеры снималась, внутреннее пространство камеры проветривалось для охлаждения воздуха в ней до первоначальной температуры.

Анализ экспериментальных данных

Испытанию подвергались спринклерные оросители с температурой срабатывания $57\text{ }^{\circ}\text{C}$. В соответствии с методикой проведения эксперимента моделировались различные температурные режимы, для которых оценивалась инерционность.

Пример графика изменения температуры в испытательной камере на уровне размещения оросителя, который моделировался на экспериментальной установке, представлен на рис. 3.

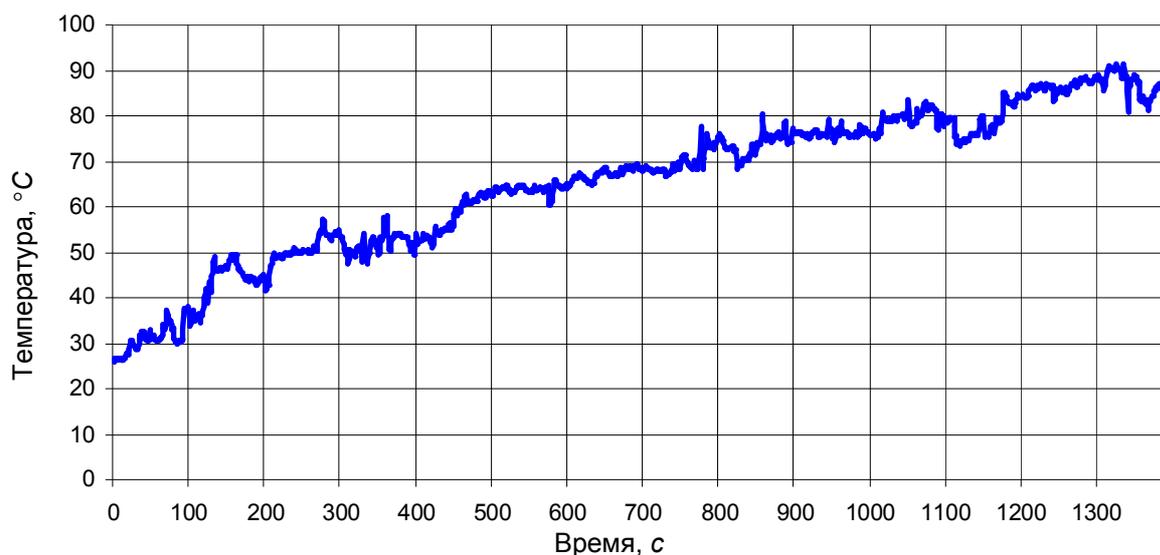


Рис. 3. Динамика температуры в зоне установки колбы оросителя

Для каждого из 4 расчётных температурных режимов было проведено не менее 3 экспериментов. После чего были определены средние значения инерционности в зависимости от скорости нарастания температуры. Экспериментальные данные о средней инерционности отражены на рис. 4.

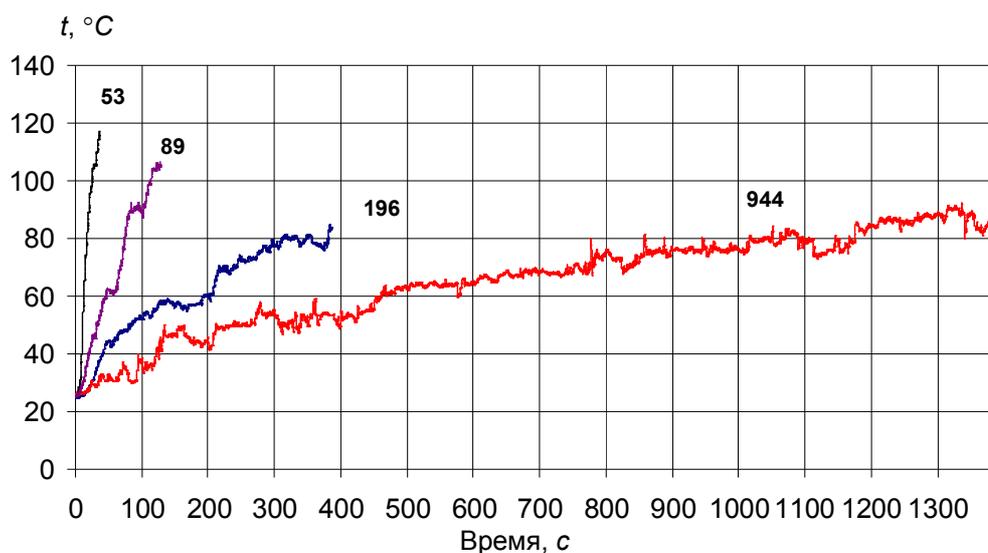


Рис. 4. Основные экспериментальные данные для оросителя с температурой срабатывания $57\text{ }^{\circ}\text{C}$

Посредством аппроксимации экспериментальные данные были преобразованы в расчётно-графическую карту для оценки инерционности оросителей при различных температурных режимах (рис. 5).

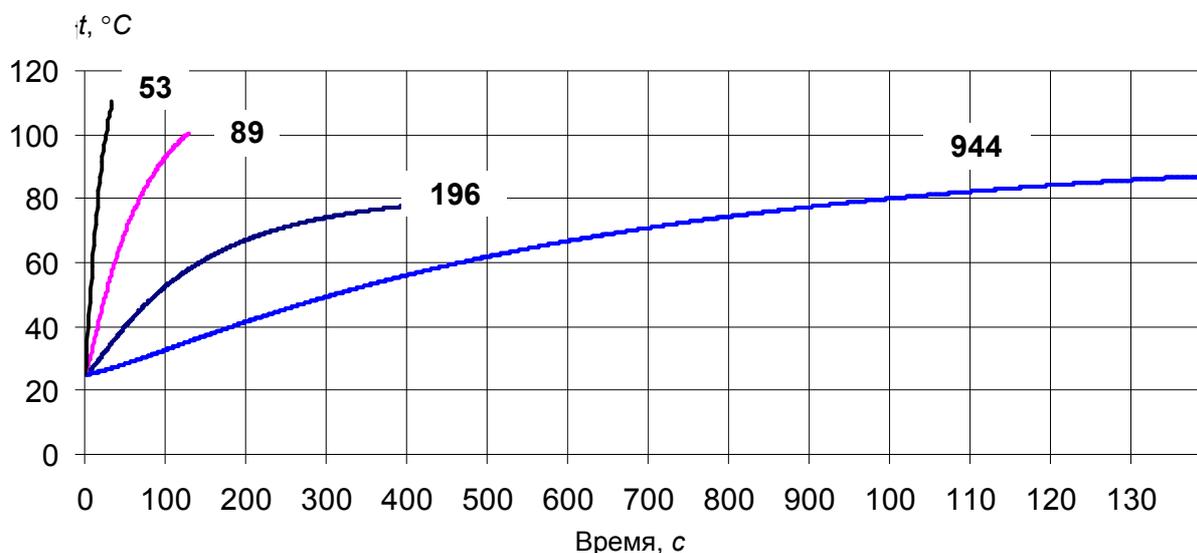


Рис. 5. График для определения инерционности оросителей с температурой срабатывания 57°C

Математическое моделирование инерционности спринклерного оросителя

Анализ экспериментальных данных и результатов теоретического исследования показал, что наиболее значимым параметром является время достижения температуры срабатывания в непосредственной близости от колбы оросителя. На рис. 6 изображен пример изменений расчётной температуры в припотолочной зоне помещения.

Теоретическое исследование показало, что наиболее существенное значение имеет период нагрева колбы до температуры срабатывания, следовательно, динамику достижения температуры срабатывания можно приблизительно описать линейной функцией (рис. 6). В качестве величины, определяющей скорость нарастания температуры, возможно использование углового коэффициента линейной функции, который определяется из формулы:

$$k = \frac{T_{cp}}{\tau_{T_{cp}}}, \quad (1)$$

где T_{cp} – температура срабатывания, °C;

$\tau_{T_{cp}}$ – время достижения температуры срабатывания, с.

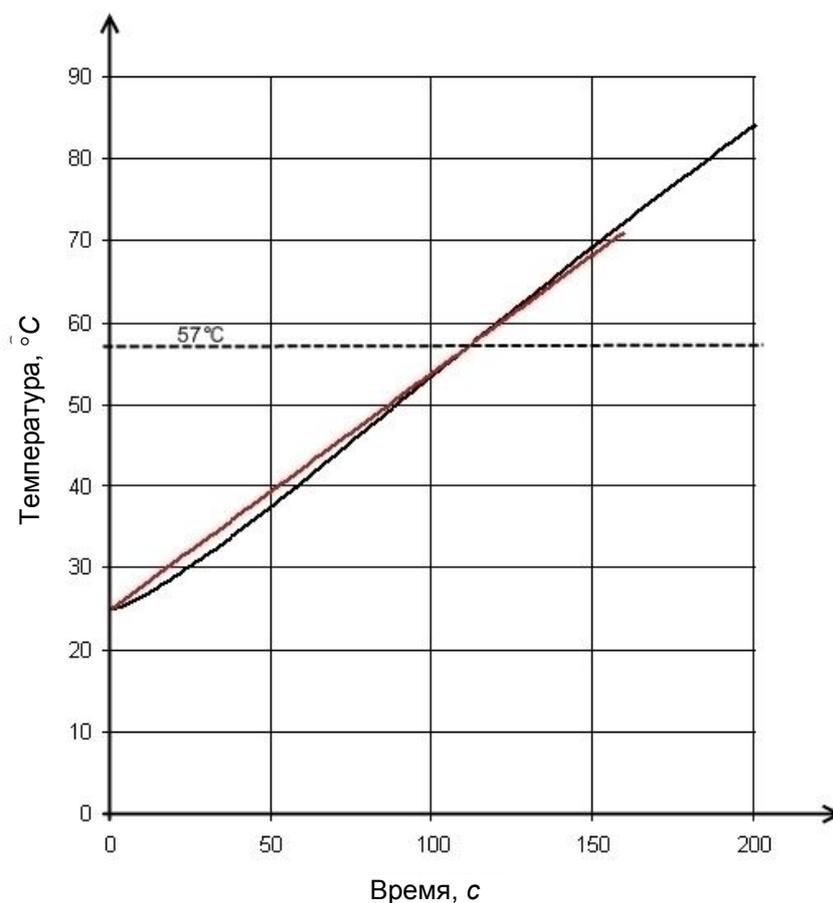


Рис. 6. Пример динамики расчётной температуры в конвективной колонке

Время достижения температуры срабатывания оросителя в конвективной колонке определялась с применением зонной математической модели [7]. Температура в конвективной колонке определялась по формуле:

$$T_k = T_0 + \frac{Q_{\text{пож}}(1-\chi)}{c_p G} \quad (2)$$

где T_0 – начальная температура среды в помещении, K ;

$Q_{\text{пож}}$ – интенсивность тепловыделения, $Вт$, определяется по формуле (3);

χ – коэффициент теплоотдачи в строительные конструкции;

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

G – расход газов через сечение струи, отстоящее от поверхности горения на расстоянии y , определяется по формуле (4), $кг/с$.

Интенсивность тепловыделения определяется по формуле:

$$Q_{\text{пож}} = \eta \psi_{\text{уд}} Q_n F, \quad (3)$$

где η – коэффициент полноты сгорания;

$\psi_{\text{уд}}$ – 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 определялся по формуле:

$$G = 0,21 \left[\frac{g \rho_0^2 Q_{пож} (1 - \chi)}{c_p T_0} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot (y + y_0)^{\frac{5}{3}}, \quad (4)$$

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, $м$, определяемое по формуле:

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

На основании полученных экспериментальных данных, приведенных на рис. 6, построена зависимость инерционности от углового коэффициента k (рис. 7).

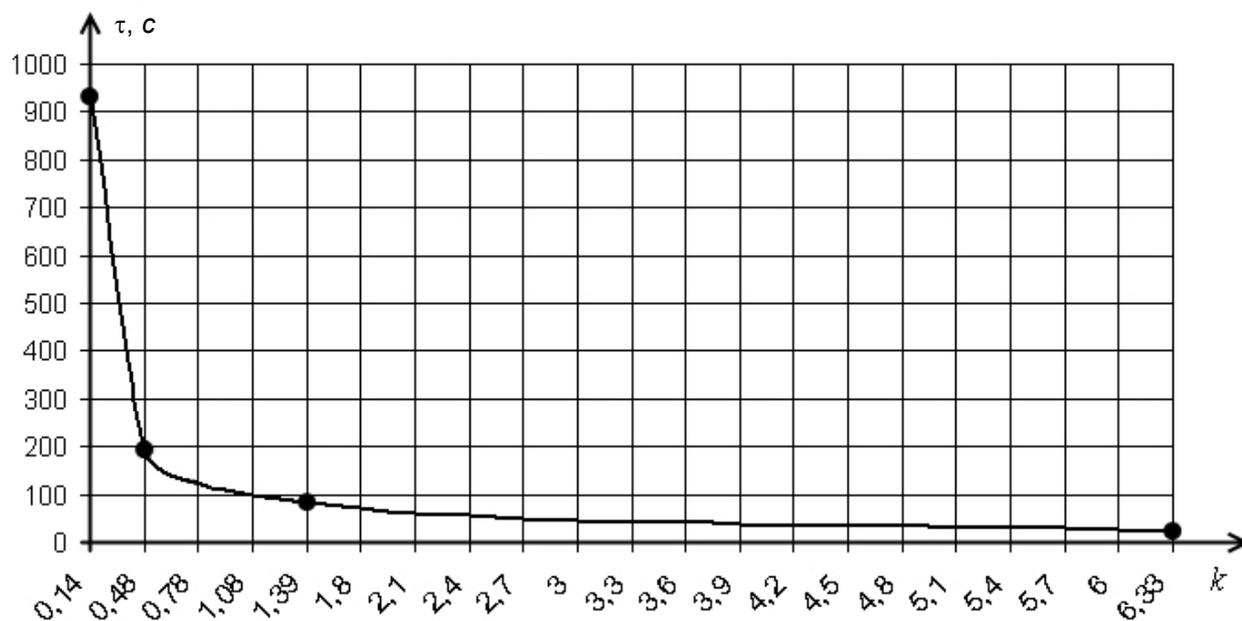


Рис. 7. График изменения инерционности в зависимости от k (экспериментальные значения)

Полученный график свидетельствует о наличии устойчивой связи между рассматриваемыми параметрами, следовательно, возможно математическое описание построенной зависимости.

С помощью программного комплекса *Excele* была определена математическая формула, наиболее точно описывающая изображенную на рис. 7 зависимость. В результате получили выражение для приблизительной оценки инерционности спринклерного оросителя с номинальной температурой срабатывания $57^\circ C$:

$$\tau_{и} = 1705 \cdot (50 \cdot k - 5,5)^{-0,74} \quad (6)$$

С учётом формулы (6) выражение (7) примет вид:

$$\tau_{и} = 1705 \cdot \left(50 \cdot \frac{57}{\tau_{57}} - 5,5 \right)^{-0,74} . \quad (7)$$

Тогда время с момента возникновения пожара до подачи воды спринклерной АУП приблизительно можно определить по формуле:

$$\tau_{OB}^{57} = \tau_{T_{cp}} + \left[1705 \cdot \left(50 \cdot \frac{57}{\tau_{57}} - 5,5 \right)^{-0,74} \right] . \quad (8)$$

С учётом формулы (7) построим график инерционности, полученной экспериментальным и расчётным способами (рис. 8).

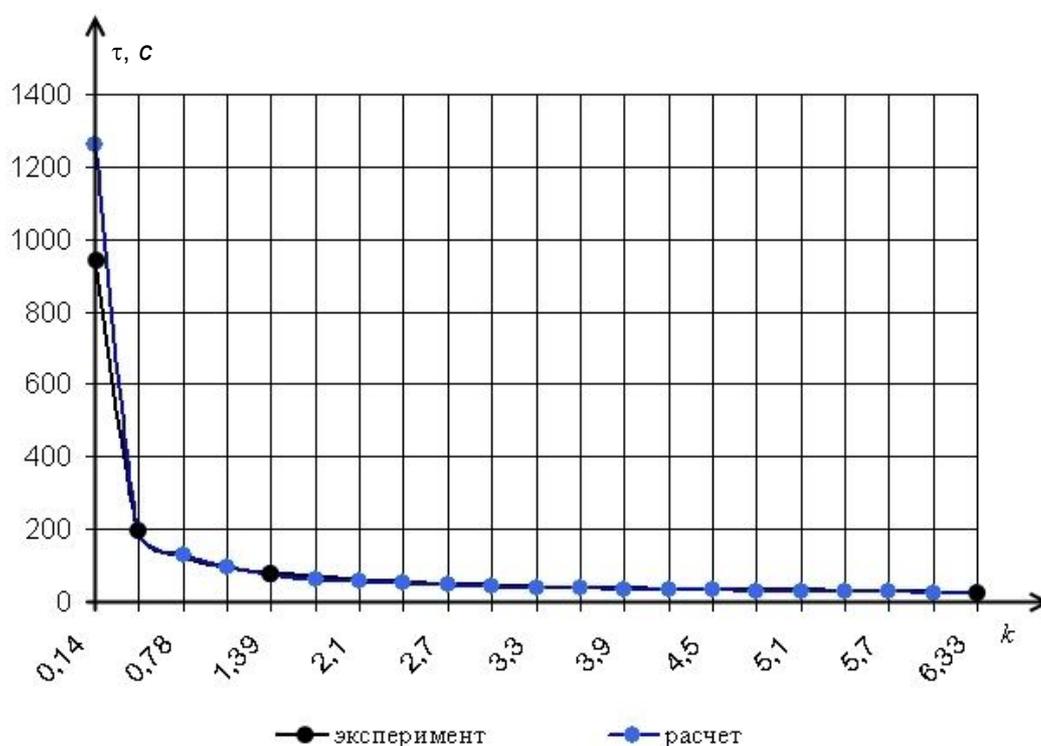


Рис. 8. График изменения инерционности в зависимости от k (экспериментальные и расчётные значения)

Полученные зависимости в настоящее время используются на кафедре пожарной автоматики Уральского института ГПС МЧС России при выполнении дипломного проектирования.

Выводы

1. Проведенное исследование позволило оценить инерционность одного из наиболее распространенных типов спринклерных оросителей с температурой срабатывания 57 °С в широком диапазоне интенсивности нарастания температуры.

2. Инерционность теплового замка спринклерного оросителя, полученная в результате эксперимента, существенно отличается от данных, приведенных в [1], что подтверждает существование зависимости между интенсивностью нагрева и инерционностью спринклерного оросителя.

3. В результате анализа экспериментальных данных выявлено уменьшение инерционности теплового замка по мере увеличения интенсивности нагрева.

4. Полученная на основании экспериментальных данных формула позволяет оценить инерционность теплового замка спринклерного оросителя с номинальной температурой срабатывания 57 °С с учётом геометрических размеров и вида пожарной нагрузки конкретного помещения, а также обосновать возможность применения установок пожаротушения в качестве средств обнаружения пожара.

Литература

1. **ГОСТ Р 51043-2002.** Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний // Принят постановлением Госстандарта России от 25 июля 2002 г. № 287-ст.

2. **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".

3. **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".

4. **НПБ 87-01.** Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний.

5. **НПБ 68-98.** Оросители водяные спринклерные для подвесных потолков. Огневые испытания.

6. **Стандарт** по предупреждению потерь / LPS 1039: ISSUE 5.1. Требования и методы испытаний оросителей.

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

Статья опубликована 4 февраля 2013 г.