

УДК 614.841.1

DOI 10.17223/19988621/60/10

И.Р. Хасанов, О.И. Орлов

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДЫ ПРИ ПОЖАРЕ

Рассматривается экранирующая способность капель воды, подаваемой из оросителей автоматических установок пожаротушения. Описаны результаты экспериментальных исследований дисперсного состава распыленной воды при различных значениях давления подачи воды на оросители. Показано, что способ подачи воды оказывает существенное влияние на эффективность тушения пожара. Эффективной защитой от распространения пожара является подача распыленной воды из оросителей, расположенных на уровне пола.

Ключевые слова: *тепловой поток, пожар, распыленная вода, экранирующая способность.*

Для предотвращения распространения пожара помещения зданий и сооружений, в том числе автостоянки, подлежат оборудованию системами пожаротушения [1]. Однако ввиду особенностей конструкции автомобилей с наличием горючих материалов в местах, закрытых для доступа огнетушащих веществ, работа систем пожаротушения в автостоянках зачастую позволяет только замедлить распространение пожара, но не обеспечивает его локализации и полной ликвидации [2, 3].

В связи с этим при обеспечении пожарной безопасности объектов с различной пожарной нагрузкой особую актуальность приобретают исследования эффективности тушения распыленной воды, подаваемой автоматическими установками пожаротушения.

Целью работы являются экспериментальные исследования влияния распыленной воды, подаваемой из оросителей, на тепловой поток модельного очага пожара.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- разработать экспериментальную установку и методику, которые позволят исследовать параметры работы оросителей и изменение теплового потока под действием распыленной воды различной дисперсности;
- исследовать параметры работы оросителей при различном давлении (расход, интенсивность орошения, диаметры капель);
- изучить влияние распыленной воды, подаваемой из оросителей на тепловой поток, излучаемый модельным очагом пожара.

Экспериментальная установка

Созданная экспериментальная установка состоит из следующих основных блоков: системы подачи воды; источника теплового излучения; прибора измерения теплового потока; измерительных приборов; защитных щитов. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Система подачи воды – это баллон объемом 50 л, заполненный водой (1), к которому подсоединен баллон со сжатым воздухом (2) через редуктор (3) и шланг высокого давления. В нижней части баллона установлен штуцер, к которому под-

соединен шланг высокого давления для подачи воды. К шлангу через тройник присоединены манометр (4) и ороситель (7).

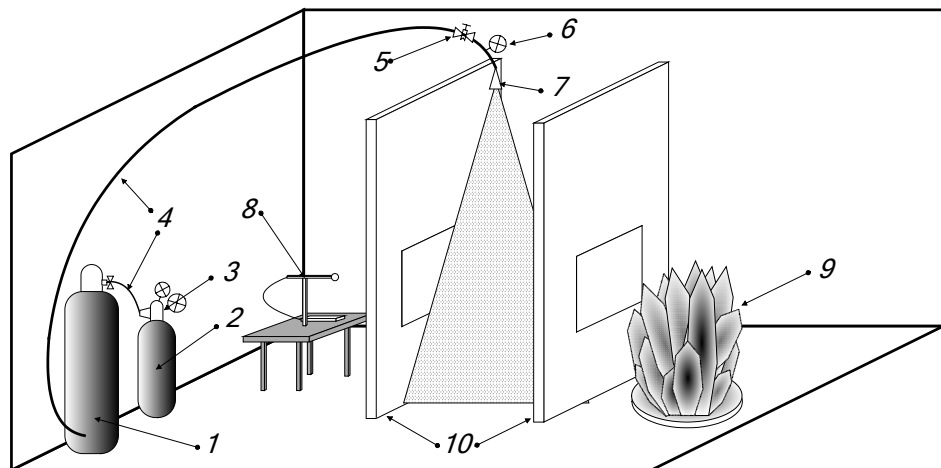


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования влияния распыленной воды на тепловой поток, излучаемый модельным очагом пожара: 1 – баллон с водой; 2 – баллон с газом-вытеснителем; 3 – редуктор; 4 – шланги высокого давления; 5 – запорный вентиль; 6 – манометр; 7 – ороситель; 8 – измеритель плотности теплового потока; 9 – модельный очаг пожара; 10 – защитные щиты

Fig. 1. Design of the experimental setup for studying the effect of sprayed water on the heat flux emitted by the model fire source: 1, cylinder with water; 2, cylinder with a gas-displacer; 3, reducer; 4, high pressure hoses; 5, shut-off valve; 6, pressure gauge; 7, sprinkler; 8, meter of the heat flux density; 9, model of a fire source; and 10, protective shields

Для экспериментов были выбраны оросители тонкораспыленной воды, предназначенные для тушения пожаров в помещениях: «А» – ороситель дренчерный тонкораспыленной воды со сплошным конусом распыла, диаметр $\frac{3}{4}$ дюйма; «Б» – ороситель дренчерный тонкораспыленной воды с полым конусом распыла, диаметр $\frac{1}{2}$ дюйма.

В качестве источника теплового излучения для экспериментов использовался модельный очаг пожара, который представлял собой круглый противень, изготовленный из листовой стали с внутренним диаметром 450 мм, толщиной стенки 1.5 мм и высотой борта противня 100 мм. В качестве горючего материала применялся автомобильный бензин марки АИ-92. Выбор источника теплового излучения обусловлен параметрами проемов в защитных щитах (проекция поверхности пламени модельного очага должна полностью покрывать площадь проема).

Для определения значений плотности теплового потока использовался измеритель плотности теплового потока ИПП-2. Давление в баллонах с водой и воздухом измерялось с помощью манометров редуктора БКО-50-4 в диапазоне давлений на входе от 0 до 25 МПа, на выходе от 0 до 2.5 МПа. Давление у оросителя измерялось водяным манометром в диапазоне давлений от 0 до 1.6 МПа. С целью определения интенсивности орошения использовались емкости $0.25 \times 0.25 \times 0.15$ м в количестве 12 шт. и мерный цилиндр объемом 1 л с ценой деления 10 мл. Фиксация времени экспериментов производилась с помощью секундомера с дискретностью отсчета времени 0.01 с.

Экспериментальные исследования состояли из двух основных этапов и выполнялись в следующей последовательности. Вначале определялись параметры работы оросителей в диапазоне давлений от 0.2 до 0.8 МПа с шагом в 0.2 МПа с измерением расхода воды из оросителей, интенсивности орошения оросителей, диаметра капель воды. Затем исследовалось влияние на тепловой поток распыленной воды различной дисперсности, подаваемой из оросителей в этом же диапазоне давлений.

Исследования параметров распыленной воды

Определение дисперсности распыленной струи воды проводилось в соответствии со стандартом [4] методом улавливания капель воды на смесь, состоящую из 1/4 весовой части технического вазелина и 3/4 частей вазелинового масла. Подложки с нанесенным на них слоем этой смеси (массой не менее 3 г, площадью захвата не менее 7 см² каждая) расставляли в плоскости, перпендикулярной к оси распылителя, на расстоянии, равном половине дальности эффективного действия струй, равномерно от центра к максимальному радиусу факела струи. Подложки накрывали отсекателем, который убирался после выхода распылителя на рабочий режим на время, необходимое для фиксирования в плоске не менее 100 капель, и при этом оставалось свободное пространство между каплями. Давление подачи соответствовало условиям проведения экспериментов.

На рис. 2 представлено изменение расхода воды оросителей в зависимости от давления. С увеличением давления повышается средний расход принятых для испытаний оросителей, однако расход воды через ороситель «А» превышает расход оросителя «Б» в среднем в 4 раза.

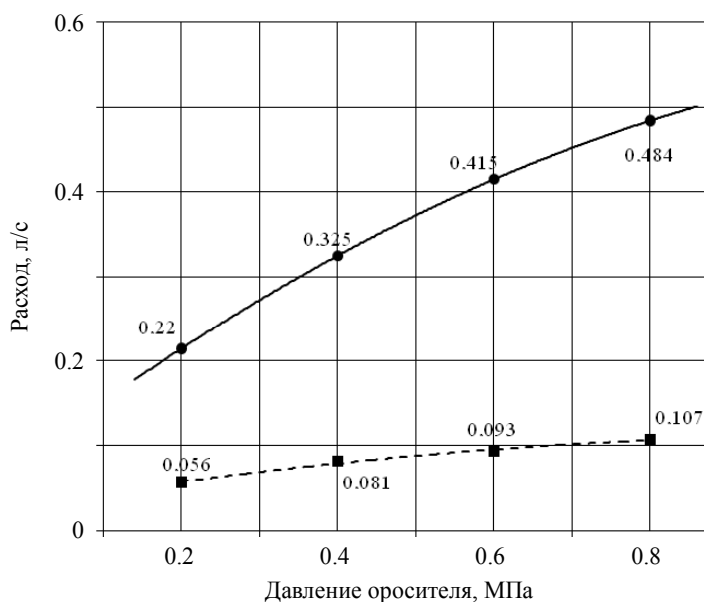


Рис. 2. Изменение расхода воды через оросители в зависимости от давления:
● – ороситель «А»; ■ – ороситель «Б»

Fig. 2. Variation in the water flow rate in the sprinklers as a function of pressure:
● – sprinkler «А» and ■ – sprinkler «Б»

Анализ результатов измерений средней интенсивности орошения оросителей (рис. 3) показал, что с увеличением давления у оросителя «А» наблюдается снижение интенсивности даже при условии повышения среднего расхода. Данный факт объясняется увеличением угла распыла, зафиксированного при проведении измерений. У оросителя «Б» изменения угла распыла не наблюдалось, поэтому средняя интенсивность орошения возрастает с увеличением давления.

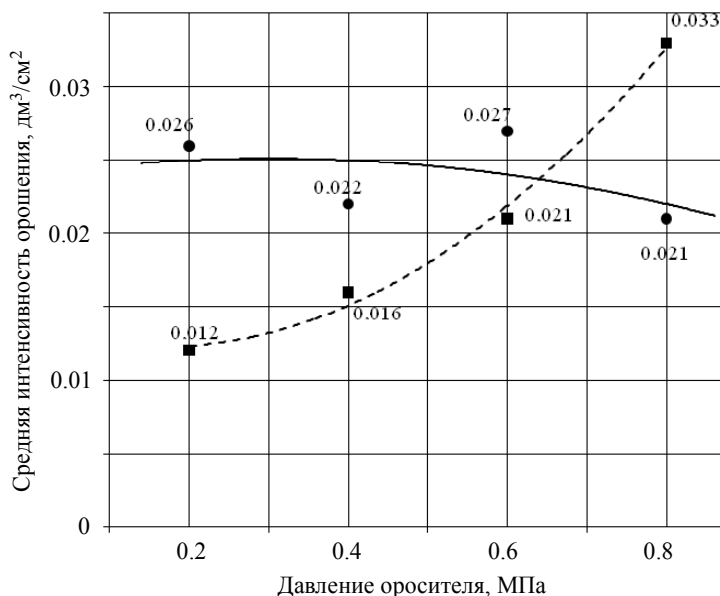


Рис. 3. Изменение средней интенсивности орошения оросителей в зависимости от давления: ● – ороситель «А»; ■ – ороситель «Б»

Fig. 3. Variation in the average intensity of irrigation of sprinklers as a function of pressure: ● – sprinkler «А» and ■ – sprinkler «Б»

Результаты измерения диаметра капель показали, что диаметр капель оросителя «А» в зависимости от давления изменяется незначительно и составляет в среднем 430 мкм. Напротив, у оросителя «Б» с увеличением давления до 0.8 МПа наблюдалось уменьшение диаметра капель более чем в 4.5 раза от диаметра при давлении 0.2 МПа.

Исследования влияния распыленной воды на тепловой поток

Условия проведения экспериментов по исследованию влияния распыленной воды на тепловой поток следующие. Фиксация значений плотности теплового потока начиналась с момента зажигания модельного очага. На 90-й секунде начиналась подача воды и работа оросителей. После 210 с проведения экспериментов подача воды прекращалась, при этом значения плотности теплового потока фиксировались до затухания очага пожара. Оценки систематической и случайной погрешностей показали, что измерения плотности теплового потока q проводились с погрешностью $q \pm 0.3$ кВт/м².

Во время проведения первых двух экспериментов направление распыла было сверху вниз. Результаты измерений плотности теплового потока при различных значениях давления представлены на рис. 4 и 5.

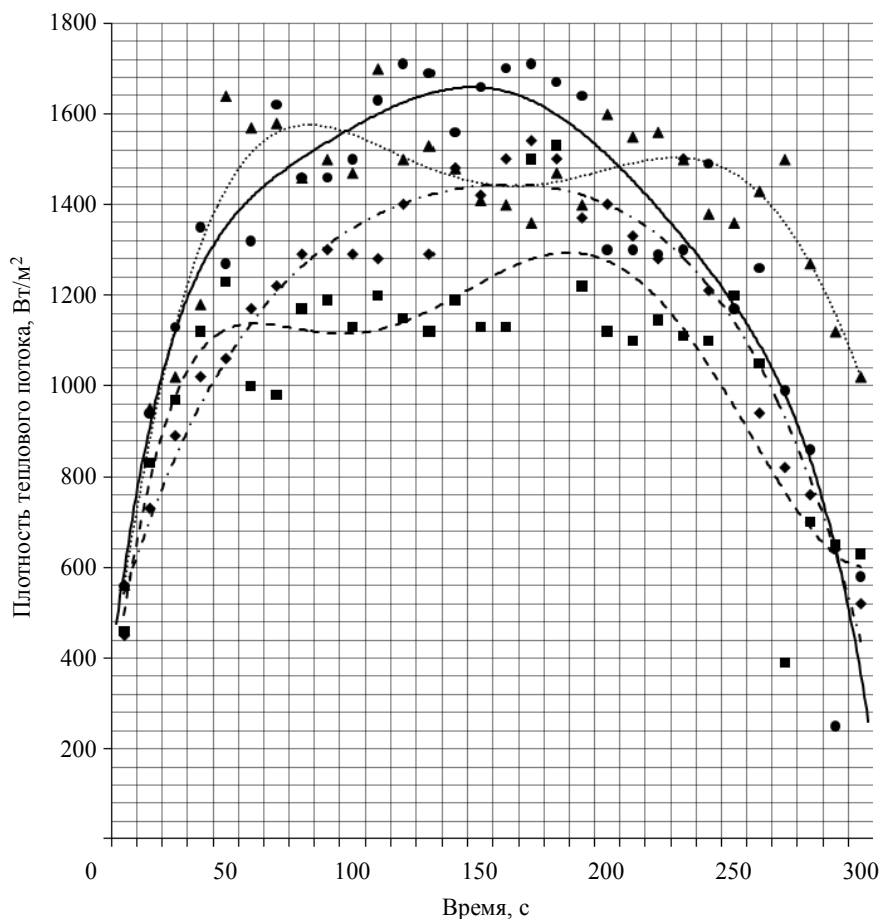


Рис. 4. Изменение плотности теплового потока под воздействием распыленной воды, подаваемой сверху вниз при различном давлении из оросителя «А»:

—●— 0.2 МПа; —■— 0.4 МПа;▲..... 0.6 МПа; —◆— 0.8 МПа

Fig. 4. Variation in the heat flux density under effect of the sprayed water supplied from the top downward at various pressures of sprinkler «А»:

—●— 0.2 МПа; —■— 0.4 МПа;▲..... 0.6 МПа; —◆— 0.8 МПа

Видно, что подача распыленной воды после 90 с вызывает незначительное ослабление теплового потока на 3.0 % при давлении 0.6 МПа у оросителя «А» и на 5.8 % при 0.4 МПа у оросителя «Б». В остальных случаях снижения тепловых потоков не наблюдалось. При этом было зафиксировано увеличение значений плотности теплового потока и интенсивности горения модельного очага пожара, выраженное в увеличении высоты пламени. Снижение значений тепловых потоков после 210 с связано с прекращением подачи распыленной воды, а также с дальнейшим выгоранием топлива и затуханием очага горения.

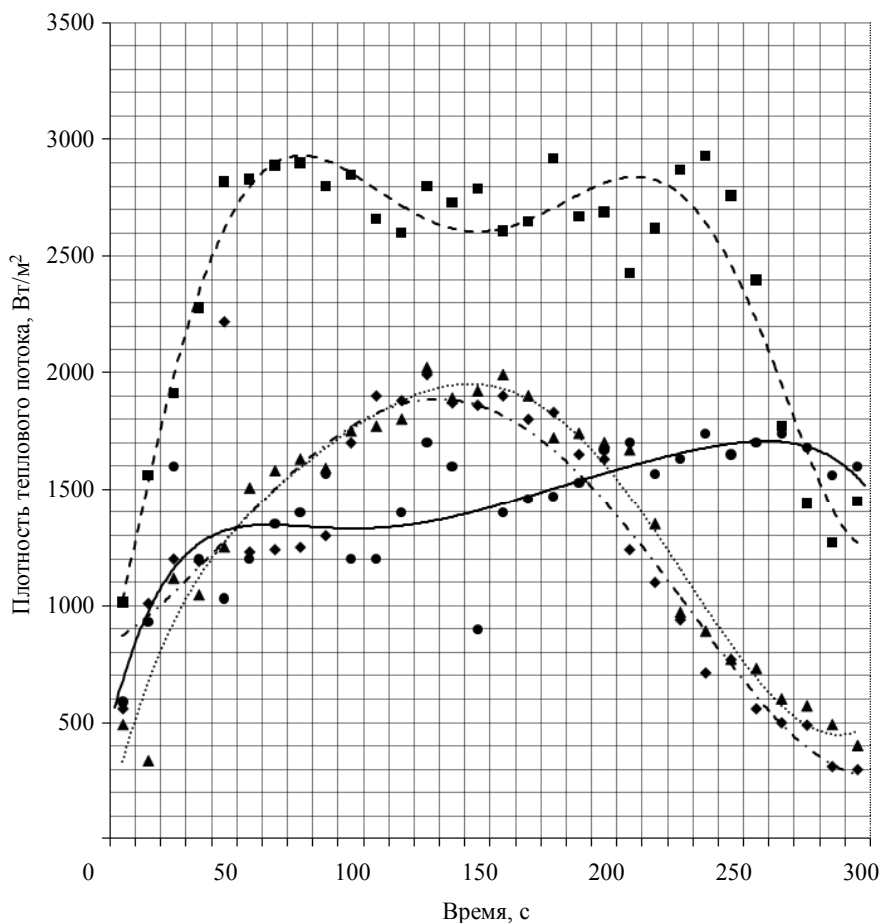


Рис. 5. Изменение плотности теплового потока под воздействием распыленной воды, подаваемой сверху вниз при различном давлении из оросителя «Б»:
 —●— 0.2 МПа; —■— 0.4 МПа;▲..... 0.6 МПа; —◆— 0.8 МПа

Fig. 5. Variation in the heat flux density under effect of the sprayed water supplied from the top downward at various pressures of sprinkler «B»:
 —●— 0.2 MPa; —■— 0.4 MPa;▲..... 0.6 MPa; —◆— 0.8 MPa

Увеличение интенсивности горения и, как следствие, повышение значений тепловых потоков объясняется попаданием дополнительного потока воздуха в зону горения бензина. Очевидно, что данный поток воздуха формировался потоком распыленной воды, так как повышение плотности теплового потока было зафиксировано в период работы оросителей. Увеличение интенсивности горения бензина может наблюдаться при попадании в зону горения капель воды, однако посредством использования защитных щитов это было исключено.

По результатам экспериментов, рассматривающих распространение пожара в автостоянках закрытого типа по принятому сценарию, можно заключить, что работа традиционной системы пожаротушения с подачей воды сверху вниз не обеспечивает в полной мере снижение тепловых потоков и нераспространение огня на

рядом стоящий транспорт. При этом большая часть воды попадает на кузов автомобиля, а не в горящий салон или подкапотное пространство.

При изменении условий проведения экспериментов, когда подача воды производилась снизу вверх (оросители были установлены на уровне пола помещения), удалось добиться существенного снижения интенсивности теплового излучения от очага пожара. При этом движение теплового потока от очага пожара и потока распыленной воды происходит в одном направлении – вверх. В результате движения двух потоков в одном направлении область турбулентного режима смещается вверх по вертикали от уровня пола. Это способствует дополнительному снижению интенсивности теплового излучения. Результаты измерений плотности теплового потока для этого случая представлены на рис. 6.

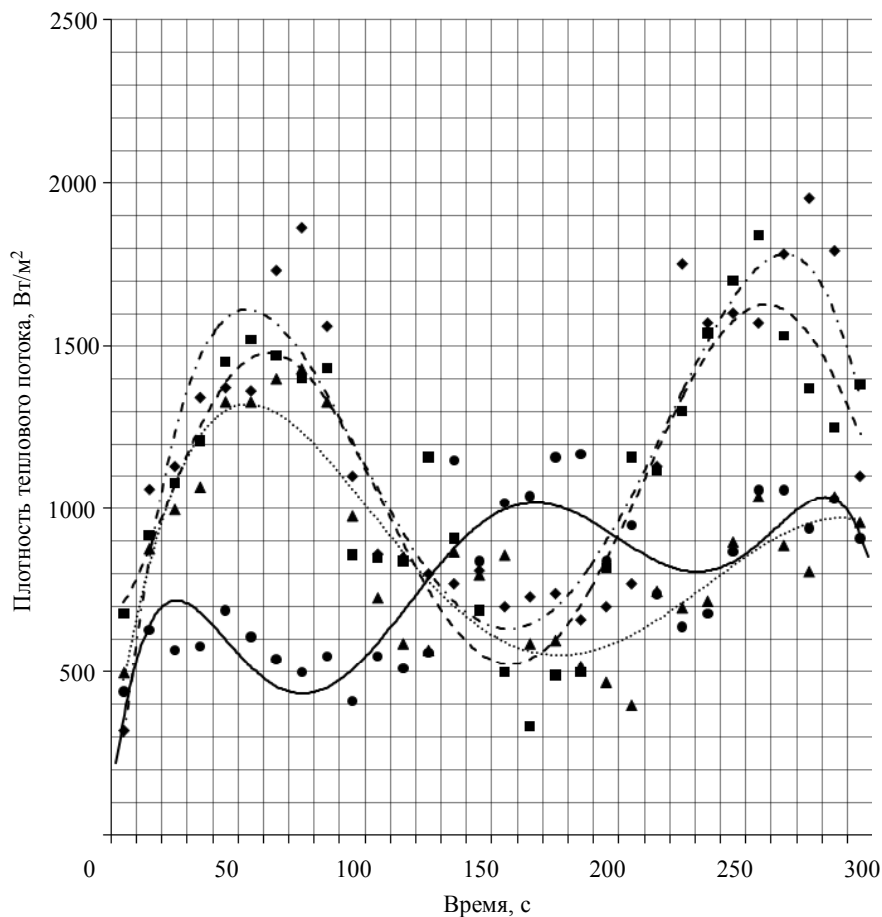


Рис. 6. Изменение плотности теплового потока под воздействием распыленной воды с направлением подачи снизу вверх: —●— 0.2 МПа ороситель «А»; —■— 0.4 МПа ороситель «Б»;▲..... 0.6 МПа ороситель «Б»; —◆— 0.8 МПа ороситель «Б»

Fig. 6. Variation in the heat flux density under effect of the sprayed water supplied from the bottom upwards: —●— sprinkler «А» at 0.2 MPa; —■— sprinkler «Б» at 0.4 MPa;▲..... sprinkler «Б» at 0.6 MPa; and —◆— sprinkler «Б» at 0.8 MPa

При испытаниях с применением оросителя «А», имеющего сплошной конус распыла с углом распыла, превышающим 180° , было зафиксировано попадание капель воды в зону горения бензина. Этот факт объясняет увеличение плотности теплового потока после 90 с эксперимента.

При работе оросителя «Б» (полый конус распыла, угол распыла не более 80°) попадания капель воды в зону горения не наблюдалось. В результате было зафиксировано значительное снижение плотности теплового потока: на 44,6 % при давлении 0,4 МПа; на 48,4 % при давлении 0,6 МПа; на 48,5 % при давлении 0,8 МПа.

Прекращение подачи воды после 210 с вызывает возрастание тепловых потоков, которое прекращается по мере выгорания топлива модельного очага пожара.

Выводы

Экспериментально установлено, что поток распыленной воды из оросителей, подаваемый сверху, за счет эжектируемого потока воздуха в очаг пожара, может привести к увеличению интенсивности горения и, как следствие, к увеличению теплового потока, воздействующего на расположенную рядом пожарную нагрузку.

Наиболее эффективной защитой от распространения пожара за счет теплового потока является их оборудование системой пожаротушения распыленной водой с расположением оросителей на уровне пола и направлением потока распыленной воды снизу вверх.

Эффективность применения предлагаемого способа пожаротушения обусловлена:

- локализацией пожара в пределах очага пожара за счет снижения воздействия теплового потока от горящего автомобиля на соседние транспортные средства до 50 % в зависимости от технических характеристик оросителей;

- повышением вероятности успеха ликвидации горения на ранней стадии пожара вследствие увеличения объема воды, попавшей непосредственно в очаг (шины, декоративные элементы отделки кузова автомобиля, салон автомобиля через разрушенное остекление);

- увеличением времени безопасной эвакуации людей за счет вовлечения продуктов горения потоком распыленной воды и сосредоточения их в припотолочном пространстве.

Реализация предложенного способа наиболее актуальна для защиты мест автомобильных парковок с использованием механизированных средств доставки и установки автомобиля. Разработанный способ пожаротушения может быть применен также на объектах защиты складского и производственного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *СП 5.13130.2009*. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. М.: ФГУ ВНИИПО, 2009. 107 с.
2. *Bin Zhao, Joël Kruppa*. Structural behaviour of an open car park under real fire scenarios // *Fires and Materials*. 2004. V. 28 (2-4). P. 269–280. DOI:10.1002/fam.867.
3. *Орлов О.И.* Особенности пожаров в автостоянках закрытого типа. Математическая модель воспламенения материалов автомобиля под воздействием теплового потока в условиях экранирующего воздействия распыленной воды // *Пожарная безопасность*. 2018. № 1. С. 55–63.
4. *ГОСТ Р 51043-2002*. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 28 с.

Статья поступила 18.10.2018 г.

Khasanov I.R., Orlov O.I. (2019) EFFICIENCY OF THE SCREENING CAPACITY OF SPRAYED WATER DURING A FIRE *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika* [Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics]. 60. pp. 132–140

DOI 10.17223/19988621/60/10

Keywords: heat flux, fire, sprayed water, screening capacity.

In this paper, the screening capacity of water droplets supplied from the sprinkler automatic fire-fighting systems are considered. The description of experimental setup, which allows to investigate dispersion and screening capacity of sprayed water, is given. The results of the study on the particle size distribution of sprayed water at various pressures of water flow in the sprinklers are presented. The effect of sprayed water on the density of heat flux emitted from the model fire source is studied. It is shown that the method of water supply (top or bottom) has a significant impact on the efficiency of fire extinguishing. It is established that the flow of sprayed water supplied from the top may lead to an increase in the combustion intensity due to the air flow involved into the fire during supply. An effective prevention of fire from spreading is a sprayed water supply from the sprinklers located at the floor level ducting the water from the bottom upwards. An alternative method of fire protection is proposed.

KHASANOV Irek Ravilevich (Doctor of Technical Sciences, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation). E-mail: irhas@rambler.ru

ORLOV Oleg Ivanovich (Head of the expert-consulting division, Ivanovo Fire and Rescue Academy of Emercom of Russia, Ivanovo, Russian Federation). E-mail: orlov.iigps@gmail.com

REFERENCES

1. Set of rules SP 5.13130.2009 (2009) *Sistemy protivopozharnoy zashchity. Ustanovki pozharnoy signalizatsii i pozharotusheniya avtomaticheskie. Normy i pravila proektirovaniya* [Fire protection systems. Installation of the automatic fire alarm and fire extinguishing systems. Rules and regulations of design]. Moscow: FGU VNIPO.
2. Zhao B., Kruppa J. (2004) Structural behavior of an open car park under real fire scenarios. *Fires and Materials*. 28(2-4). pp. 269–280. DOI: 10.1002/fam.867.
3. Orlov O.I. (2018) Osobennosti pozharov v avtostoyankakh zakrytogo tipa. *Matematicheskaya model' vosplamneniya materialov avtomobilya pod vozdeystviem teplovogo potoka v usloviyakh ekraniruyushchego vozdeystviya raspylennoy vody* [Features of the fires in closed parking lots. Mathematical model of the ignition of car materials resulting from a heat flux under the shielding effect of sprayed water]. *Pozharnaya bezopasnost' – Fire Safety*. 1. pp. 55–63.
4. Standard GOST R 51043-2002 (2002) *Ustanovki vodyanogo i pennogo pozharotusheniya avtomaticheskie. Orositeli. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy* [Installation of the automatic water and foam fire-fighting systems. Sprinklers. General technical requirements. Test methods]. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov.

Received: October 18, 2018