

УДК 614.838.441

ЭКРАНИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА РАСПЫЛЕННЫМИ СТРУЯМИ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

Булва И.В., Еремин А.П., Булва А.Д.

В работе выполнена валидация математической модели, предложенной Виноградовым А.Г., для оценки экранирующей способности водяных завес, формируемых с помощью распылителей «Аквамастер-5». Показано, что предлагаемая модель имеет хорошую сходимость с экспериментальными данными и может быть положена в основу для проектирования дренчерных водяных завес в нормы национального технического регулирования, а также проведения инженерных расчетов по оценке их экранирующей способности относительно теплового излучения пожара. Также методика может служить действенным инструментом при выборе распылителей и сравнении их эффективности. В ходе исследования модель Виноградова А.Г. была незначительно усовершенствована путем введения упрощенной формулы для проведения расчета среднеобъемного диаметра капель, формируемых распылителями, а также предложен упрощенный графический способ определения толщины осажденного слоя.

Ключевые слова: водяная завеса, дренчер, коэффициент ослабления, пожар, распылитель, тепловой поток, экранирование, эффективность.

(Поступила в редакцию 17 февраля 2017 г.)

Введение. Вопросы применения распыленных струй воды для защиты от теплового излучения находятся под пристальным вниманием со стороны специалистов в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС).

Как было показано в работах [1,2], водяная завеса не способна создавать существенную преграду для опасных факторов пожара, однако она способна выполнять функцию экранирования теплового излучения. Способность воды поглощать и рассеивать это излучение обуславливает возможность применения водяной завесы в условиях пожара для защиты людей и объектов.

Модели процессов взаимодействия теплового излучения с каплями и водяными завесами для различных дисперсностей и спектров излучения пожара, а также их аппроксимирующие зависимости были обстоятельно исследованы и изложены в работах [3-9]. Применение таких моделей дает возможность определить экранирующие свойства водяной завесы посредством инженерных расчетов, т. е. без проведения огневых испытаний и программного моделирования.

Указанные модели имеют ряд ограничений и допущений:

- диаметр капель эквивалентной монодисперсной завесы не должен превышать 1,0 мм;
- среднеповерхностная температура очага пожара должна быть в диапазоне 700-1800 К;
- водяная завеса рассматривается как плоскопараллельный объект с однородной структурой;
- в ходе расчета завес не учитывается воздействие на завесу конвективных тепловых и воздушных потоков, способных исказить эпюру орошения;
- экранирование теплового излучения очага пожара паро- и дымогазовой средами за пределами зоны орошения завесы не учитывается;
- тепловое излучение, действующее на водяную завесу, принимается среднеповерхностным;
- в ходе расчета завес не учитывается воздействие на завесу вторичных воздушных потоков, т. е. вдоль границы эпюры орошения воздушная среда принимается неподвижной (вязкое взаимодействие подвижных капель с воздухом не учитывается);

- капли имеют сферическую форму и распределяются в раздробленном потоке равномерно по сечению струи;
- взаимодействие отдельных капель в раздробленном состоянии (т. е. их слияние, последующее дробление и т. д.) не учитывается;
- изменение диаметра капель эквивалентной монодисперсной завесы за счет испарения, а, следовательно, и изменение оптических свойств капель не учитывается.

Отсутствие расчетных методик в национальном законодательстве, предназначенных для проектирования и эксплуатации дренчерных водяных завес, является существенным препятствием для их широкого внедрения, повышения эффективности и надежности. В основу разработки и внедрения такой методики может быть положена математическая модель, предложенная украинским ученым, Анатолием Григорьевичем Виноградовым. Основные результаты исследований опубликованы в работах [3 – 7]. Предлагаемая модель позволяет получить расчетные параметры экранирующих свойств дренчерных водяных завес. Для валидации математической модели мы поставили перед собой цель сравнить уже известные экспериментальные данные и данные, которые можно получить, воспользовавшись математической моделью Виноградова А.Г. В качестве объекта исследования принят коэффициент поглощения (ослабления) теплового потока водяных завес, формируемых распылителями «Аквастер-5», подробные экспериментальные характеристики которого приведены в [12].

Основная часть. Организация испытания, приведенного в [12], представлена на рис.1, 2.

Завеса сформирована струями распыленной воды осесимметричной формы в виде параболоида вращения, направленными вертикально вниз. Высота создаваемой завесы 3,0 м. Для измерения плотности теплового потока использовался радиометр РАП-12Д, установленный на штативе на высоте 0,9 м от пола.

В испытании применялся распределительный трубопровод в две нитки диаметром $\frac{3}{4}$ дюйма. Нитки устанавливались на расстоянии 1 м одна от другой.

В качестве модельного очага пожара использовался противень диаметром 1170 мм, горючая нагрузка – бензин А80 объемом 10 л.

Давление у «диктующего» (наиболее удаленного) оросителя или распылителя варьировалось в пределах 0,5 –1,0 МПа.

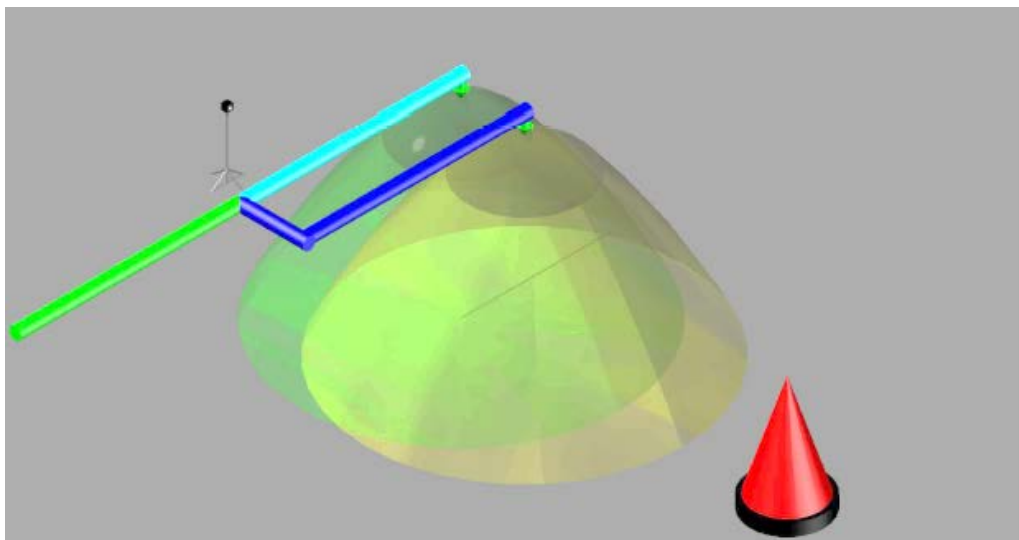
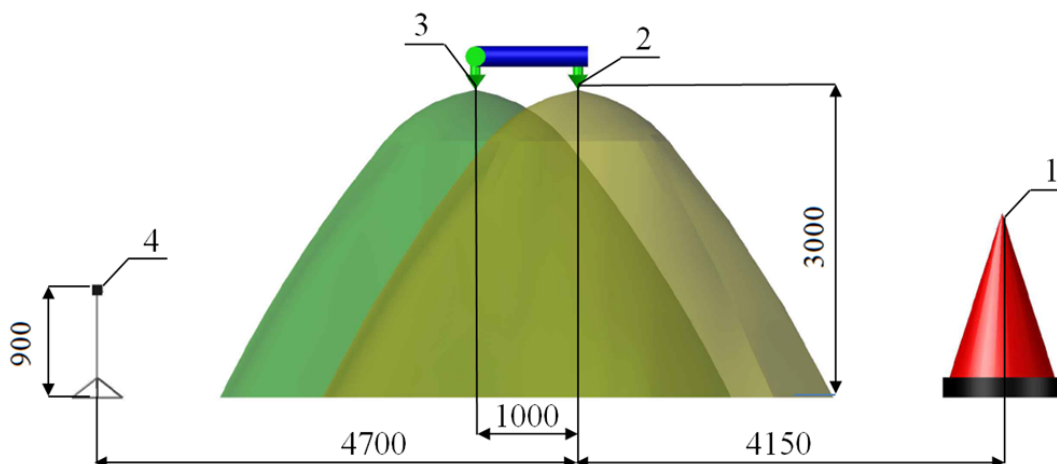


Рисунок 1. – Принципиальная схема испытания (общий вид)



1 – противень с горючей жидкостью; 2, 3 – ороситель (распылитель первого эшелона орошения); 4 – радиометр РАП 12 со штативом
Рисунок 2. – Принципиальная схема испытания (вид сбоку)

Расстояние от плоскости борта противня до плоскости 1-ой нитки распределительного трубопровода – 4,15 м, до плоскости 2-ой нитки – 4,70 м, до плоскости приемника излучения – 8,85 м. Расстояние между нитками распределительного трубопровода 1 м.

За критерий эффективности водяных завес принят коэффициент поглощения (ослабления) теплового потока, определяемый по формуле:

$$\Delta_{эф}^3 = \frac{\Delta I}{I_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где ΔI – тепловой поток, поглощенный водяной завесой;

I_0 – тепловой поток, регистрируемый приемником излучения при отсутствии водяной завесы.

В процессе эксперимента было установлено, что $I_0 = 0,29 \text{ кВт/м}^2$.

Прочие результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты эксперимента

Тип оросителя (распылителя)	n , шт.	K	P , МПа	Q , л/с	I_0 , Вт/м ²	I , Вт/м ²	$\Delta_{эф}^3$, %
Распылитель «Аквастер-5»	1	0,07	0,5	0,49	290	209	28
		0,07	1,0	0,70	290	145	50
Распылитель «Аквастер-5»*	2	0,07	0,5	0,49	290	145	50
		0,07	0,8	0,63	290	67	77

Примечание – * между модельным очагом пожара и приемником излучения действуют два распылителя.

В основе расчета критерия эффективности водяных завес, предлагаемых Виноградовым А.Г., положены параметры, оказывающие существенное влияние на величину теплового потока:

глубина водяной завесы (l);

расход воды через ороситель (Q);

счетная концентрация капель в завесе (n);

диаметр капель завесы (D);

среднеповерхностная температура очага пожара (T);

весовой коэффициент, определяющий соотношение вкладов спектра абсолютно черного тела и молекулярных полос (ψ);

параметр формы, определяющий ширину функции распределения капель, (σ).

Следует учесть, что такие параметры, как глубина водяной завесы, расход воды через распылитель приводятся в его паспорте в зависимости от давления и коэффициента производительности. Среднеповерхностная температура очага пожара и весовой коэффициент, опре-

деляющий соотношение вкладов спектра абсолютно черного тела и молекулярных полос, зависят от конкретного вида тепловой нагрузки и могут быть определены по справочным данным. Экспериментально и с помощью компьютерного моделирования возможно определить счетную концентрацию водяных капель, их диаметр, а также параметр формы.

Основной проблемой при выполнении расчетов является установление значений счетной концентрации капель в завесе и диаметр капель в полидисперсной завесе. Их определение – весьма сложная и дорогостоящая задача, поэтому реально можно осуществить лишь оценочные измерения на основе косвенных данных (рассеяние света и т. п.). Причем, указанные характеристики оросителей могут быть определены экспериментально уже после их изготовления. При компьютерном моделировании процессов гидродинамического анализа, в частности, модели турбулентного движения вязкой жидкости, было показано, что даже при использовании достаточно производительных машин применение этих моделей оказывается неприемлемым из-за слишком больших временных затрат. Так, на основе модели крупных вихрей (Large Eddy Simulation (LES)), заложенной в программный комплекс Flow FES, процесс моделирования распыления капель распылителем TPВ с целью дальнейшего определения n , D водяной завесы занял 37 суток. При этом удалось смоделировать процесс распыления продолжительностью всего лишь 0,15 с [10].

Следовательно, для практических инженерных расчетов следует отказаться от рассмотрения характеристик водяной завесы с точки зрения индивидуальных характеристик капли, и рассматривать водяную завесу, как некий конгломерат капель, выполняющих единую функцию экранирования теплового излучения.

Достигнуть этой цели возможно посредством применения теории затопленных струй [11].

Благодаря тому, что при взаимодействии мелких капель с воздушной средой происходит быстрая релаксация и уравнивание скорости их движения со скоростью окружающего воздуха. Движение каждой капли влияет на состояние воздуха, создавая в нем некоторое поле скоростей и давлений. Импульс, потерянный каплей при торможении, передается окружающему воздуху, который вследствие этого приходит в движение, что и капля. После этого движение капель в основном соответствует законам движения воздуха, и распыленную в воздухе воду (водяной туман) в первом приближении можно считать затопленной воздушной струей.

Одним из приближений теории Виноградова А.Г. является так называемая толщина осажденного слоя l_s , т. е. толщина водяной пленки, которая образовалась бы, если всю воду из капель удалось равномерно распределить вдоль центральной плоскости.

Стоит отметить, что толщина осажденного слоя l_s является паспортной величиной и численно толщина осажденного слоя равна средней интенсивности орошения.

При отсутствии справочных данных толщину осажденного слоя можно определить по формуле:

$$l_s = \frac{Q}{S_{op}}, \quad (2)$$

где Q – расход воды из распылителя, м³/с;

S_{op} – площадь орошения, м².

Расход из распылителя Q , м³/с, можно определить по формуле [14]:

$$Q = \frac{K \cdot \sqrt{P}}{100}, \quad (3)$$

где P – давление непосредственно перед выходом из сопла оросителя, МПа;

K – коэффициент производительности распылителя.

Эквивалентный диаметр капель, образованных традиционными оросителями, может быть определен с использованием соотношения, приведенного в [15]:

$$D_{eq} = 0,02108 \cdot U_0^{-\frac{4}{3}} \cdot d_0^{\frac{1}{12}}, \quad (4)$$

где d_0 – диаметр сопла распылителя, м;

U_0 – скорость потока струи на начальном участке, м/с, определяемую по формуле:

$$U_0 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_0^2}. \quad (5)$$

Для оросителей тонкораспыленной воды D_{eq} определяется посредством экспериментов.

Коэффициент пропускания сферической капли с диаметром эквивалентной монодисперсной завесы с учетом спектрального состава излучения может быть получен, как показано в [7], в зависимости от эквивалентного диаметра каплей D_{eq} :

$$\eta(\psi, D_{eq}) = (1 - \psi) \cdot \eta(0, D_{eq}) + \psi \cdot \eta(1, D_{eq}), \quad (6)$$

где ψ – весовой коэффициент, определяющий соотношение вкладов в общий спектр излучения абсолютного черного тела и молекулярных полос.

Коэффициент пропускания капли для абсолютно черного тела определяется по формуле (7), а входящие коэффициенты – по формулам (8) – (10) [11]:

$$\eta(0, D_{eq}) = A \cdot D_{eq}^B + C, \quad (7)$$

$$A = 1,25 \cdot 10^{-35} \cdot (T - 207,6)^{11,02}, \quad (8)$$

$$B = -2,329 + 1,6362 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1,0519 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 1,386 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 + 5 \cdot 10^{-13} \cdot T^4 - 0,651 \cdot 10^{-16} \cdot T^5, \quad (9)$$

$$C = -9,59 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,002495T}, \quad (10)$$

где T – среднеповерхностная температура пожара, К.

Коэффициент пропускания капли для молекулярных полос рассчитывается по формуле (11):

$$\eta(1, D_{eq}) = 1,8 \cdot 10^{-7} \cdot D_{eq}^{-1,47} - 2 \cdot 10^{-3}. \quad (11)$$

Коэффициент пропускания водяной завесы H может быть определен по формуле, приведенной в [3]:

$$H = \exp \left[-1,4 \cdot \left(1 - \eta(\psi, D_{eq}) \right) \cdot \frac{l_s}{D_{eq}} \right]. \quad (12)$$

Расчетная экранирующая эффективность защиты от теплового излучения с помощью водяных завес оценивается соотношением (1).

В статье приведем пример расчета экранирующих свойств водяных завес для распылителя «Аквастер-5» при следующих исходных данных (часть параметров принята по паспорту оросителя: давление, коэффициент производительности, условный диаметр выходного отверстия, толщина осажденного слоя, а часть параметров – по справочным данным: плотность воздуха, воды, температура горения бензина):

давление непосредственно перед выходом из сопла – $P=0,5$ МПа;

коэффициент производительности распылителя – $K=0,07$;

условный диаметр выходного отверстия – $d_0=5 \times 10^{-3}$ м;

плотность воздуха – $\rho_{возд.}=1,293$ кг/м³;

плотность воды – $\rho_{вод.}=1000$ кг/м³;

температура горения бензина – 1573 К;

толщина осажденного слоя для распылителя «Аквастер-5» – $l_s=5,67 \times 10^{-5}$ м.

Здесь следует отметить, что толщина осажденного слоя для одиночного распылителя «Аквастер-5» определена с помощью графического анализа эпюры орошения и изме-

нения площади орошения с высотой, что оказывает существенное влияние на толщину осажденного слоя. В паспортных данных на ороситель «Аквастер-5» приведено значение интенсивности орошения $0,4 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ при расстоянии до сопла $2,5 \text{ м}$, а в рассматриваемом случае значение интенсивности необходимо принимать для расстояния $2,1 \text{ м}$ (высота установки радиометра). С этой целью справочные данные были пересчитаны для получения корректного значения.

Расход из оросителя определяем по формуле (3):

$$Q = \frac{0,07 \cdot \sqrt{0,5}}{100} = 4,95 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Скорость потока струи на начальном участке струи рассчитываем, используя соотношение (5):

$$U_0 = \frac{4 \cdot 4,95 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2} = 25,2 \text{ м} / \text{с}.$$

По формуле (4) определяем эквивалентный диаметр каплей, образованный оросителем:

$$D_{eq} = 0,02108 \cdot 25,2^{\frac{4}{3}} \cdot (5 \cdot 10^{-3})^{\frac{1}{12}} = 1,83 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Коэффициент пропускания сферической капли с диаметром эквивалентной монодисперсной завесы с учетом спектрального состава рассчитываем по формуле (6):

$$\eta(\psi, D_{eq}) = (1 - 0,7) \cdot 0,368 + 0,7 \cdot 0,054 = 0,148.$$

Весовой коэффициент, определяющий соотношение вкладов в общий спектр излучения абсолютного черного тела и молекулярных полос при горении бензина, принимаем $\psi = 0,7$ (по результатам обработки экспериментальных данных работы [16]).

Коэффициент пропускания капли для абсолютно черного тела определяем, воспользовавшись формулами (7-10):

$$A = 1,25 \cdot 10^{-35} \cdot (1573 - 207,6)^{11,02} = 0,444,$$

$$B = -2,329 + 1,6362 \cdot 10^{-3} \cdot 1573 + 1,0519 \cdot 10^{-6} \cdot 1573^2 - 1,386 \cdot 10^{-9} \cdot 1573^3 + 5 \cdot 10^{-13} \cdot 1573^4 - 0,651 \cdot 10^{-16} \cdot 1573^5 = -0,113,$$

$$C = -9,59 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,002495 \cdot 1573} = -0,806,$$

$$\eta(0, D_{eq}) = 0,444 \cdot (1,83 \cdot 10^{-4})^{-0,113} - 0,806 = 0,368,$$

$$\eta(1, D_{eq}) = 1,8 \cdot 10^{-7} \cdot (1,83 \cdot 10^{-4})^{-1,47} - 2 \cdot 10^{-3} = 0,054.$$

Из формулы (12) определяем коэффициент пропускания водяной завесы H :

$$H = \exp \left[-1,4 \cdot (1 - 0,148) \cdot \frac{5,67 \cdot 10^{-5}}{1,83 \cdot 10^{-4}} \right] = 0,691.$$

Тогда тепловое излучение, прошедшее через завесу:

$$I_1 = I_0 \cdot H = 0,29 \cdot 0,691 = 0,200 \text{ кВт}/\text{м}^2.$$

Экранирующая эффективность защиты от теплового излучения с помощью водяных завес составит (см. формулу (1)):

$$\Delta_{эф}^p = \frac{0,29 - 0,200}{0,29} \cdot 100\% = 31\%.$$

Результаты расчета по методу Виноградова А.Г. для различных вариантов использования распылителей представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты расчета по методу Виноградова А.Г.

Тип оросителя (распылителя)	n, шт.	K	P, МПа	Q, л/с	I ₀ , Вт/м ²	I, Вт/м ²	Δ _{эф} ^p , %
Распылитель «Аквамастер-5»	1	0,07	0,5	0,49	290	200	31
		0,07	1,0	0,70	290	134	53,8
Распылитель «Аквамастер-5»*	2	0,07	0,5	0,49	290	138	52,3
		0,07	0,8	0,63	290	84	71

Примечание – * между модельным очагом пожара и приемником излучения действуют два распылителя.

Сравнительная оценка экспериментальных и расчетных данных экранирующей эффективности водяных завес приведена в таблице 3.

С учетом указанных в таблице 3 погрешностей измерений совпадение результатов можно считать удовлетворительным (отклонение между теоретическими и экспериментальными значениями коэффициента пропускания не превышает 10 %). Кроме экспериментальных погрешностей, на результат измерений некоторое влияние могли оказать особенности конструкции распылителя водяной струи. Возможно, это проявляется в свойствах распыленной струи, которые сложно учесть при разработке математической модели.

Таблица 3. – Результаты сравнения экспериментальной и расчетной экранирующей эффективности водяной завесы

Тип оросителя (распылителя)	n, шт.	Δ _{эф} ^э , %	Δ _{эф} ^p , %	δ = Δ _{эф} ^p - Δ _{эф} ^э
Распылитель «Аквамастер-5»	1	28	31	3
		50	53,8	3,8
Распылитель «Аквамастер-5» *	2	50	52,3	2,3
		77	71	6

Примечание – * между модельным очагом пожара и приемником излучения действуют два распылителя.

Заключение. Результаты эксперимента и значения, полученные расчетом с использованием модели Виноградова А.Г. позволяют говорить о хорошей сходимости результатов по оценке экранирования теплового излучения пожара дренчерными водяными завесами. В основе рассматриваемой модели положены: эквивалентный диаметр капель воды, равный среднеобъемному диаметру Саутера; коэффициент пропускания капель и толщина эквивалентного слоя воды. Отклонение между теоретическими и экспериментальными значениями коэффициента пропускания не превышает 10 %.

Таким образом, полученные результаты позволяют говорить о возможном практическом использовании математической модели в качестве базовой для оценки эффективности применения дренчерных водяных завес по экранированию теплового излучения от пожара, а также использовать модель для сравнения эффективности различных технических средств (распылителей) по указанной характеристике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булва, И.В. Пространственное распределение опасных факторов пожара с учетом работы водяной завесы в качестве противопожарной преграды / И.В. Булва // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: Сб. статей по материалам VII Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. уч. 29-30 сент. 2016 г.: в 2-х ч. Ч. 1 / ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2016. – 134-136 с.
2. Булва, И.В. Применение дренчерной водяной завесы в качестве противопожарной преграды / И.В. Булва, А.П. Еремин, А.Д. Булва // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2016. – № 2 (40). – С. 42-48.
3. Виноградов, А.Г. Методика расчета экранирующих свойств водных завес // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 1. – С. 45-54.
4. Виноградов, А.Г. Поглощение теплового излучения водяными завесами // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 7. – С. 73-82.

5. Виноградов, А.Г. Поглощение теплового излучения водяными завесами. Часть 2 // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22, № 4. – С. 72-84.
6. Виноградов, А.Г. Экранирование теплового излучения полидисперсными водяными завесами // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22, № 6. – С. 74-84.
7. Виноградов, А.Г. Учет спектрального состава теплового излучения при расчете коэффициента пропускания капли воды // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 21, № 9. – С. 64-73.
8. Coppalle, D. Nedelka, and B. Bauer, «Fire Protection: Water Curtains» // Fire Safety J. – 1993. – Vol. 20. – Pp. 241-255.
9. S. Dembele, J. X. Wen, and J.F. Sacadura «Analysis of the Two-Flux Model for Predicting Water Spray Transmittance in Fire Protection Application» // ASMS J. Heat Transfer, 2000. – Vol. 122, No. 1. – Pp. 183-186.
10. Гурьев, Ю.В. Анализ методов компьютерного моделирования процесса распыления из оросителя тонкораспыленной воды / Ю.В. Гурьев, И.В. Ткаченко, Ю.С. Еремин // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 10. – С. 77-80.
11. Виноградов, А.Г. Применение теории затопленных струй к расчету параметров водяных завес // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 5. – С. 76-87.
12. Проектирование автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой с применением распылителей «Аквамастертм»: Технические условия. – М.: ВНИИПО, 2008. – 76 с.
13. Виноградов, А. Г. Экспериментальное исследование экранирования теплового излучения распыленной водой / А.Г. Виноградов, С.Ю. Огурцов, В.А. Дунюшкин, В.С. Бенедюк, Е.А. Линчевский // Науковий вісник УкрНДШБ, 2014, № 2 (30). – С. 99-108.
14. Бабуров, В.П. Производственная и пожарная автоматика. Ч. 2. Автоматические установки пожаротушения: Учебник / В.П. Бабуров, В.В. Бабурин, В.И. Фомин, В.И. Смирнов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 298 с.
15. Булва, А.Д. Применение водяных завес для ограничения распространения опасных примесей в атмосфере / А.Д. Булва // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 9. – С. 74-81.
16. Агафонцев, М.В. О выборе спектрального интервала при исследовании полей температуры в пламени с помощью тепловизора / М.В. Агафонцев, Е.Л. Лобода, Е.А. Макарова, В.В. Рейно // Вестник науки Сибири. 2015. Спецвыпуск (15). – С. 37-42.

SHIELDING OF HEAT FLUX BY WATER SPRAY UNDER FIRE CONDITIONS

Inessa Bulva

Aliaksei Yeromin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Alexander Bulva

The state educational establishment «Civil Protection University of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. The paper is devoted to the evaluation of the ability of water curtains formed by a spray «Akvamaster-5» for shielding of heat flux. The A. Vinogradov model was used to confirm experimental data.

Methods. The methods of observation, comparison, analysis, and modeling were used.

Findings. The results confirm the possibility of practical use of mathematical models as the basis for evaluation of the effectiveness of the use of water curtains shielding radiant heat from a fire, as well as the use of the model for the comparison of effectiveness of different technical means (irrigators).

Applications field of research. The obtained experimental data can be used in designing of water curtains and in assessing their effectiveness.

Conclusions. The results of the research can be used for the increase of the effectiveness of active fire protection.

Keywords: water curtain, drencher, attenuation coefficient, fire, spray gun, heat flux, shielding, effectiveness.

(The date of submitting: February 17, 2017)

REFERENCES

1. Bulva I.V. Prostranstvennoe raspredelenie opasnykh faktorov pozhara s uchetom raboty vodyanoy zavesy v kachestve protivopozharnoy pregrady [The spatial distribution of fire hazards taking into consideration the work of water curtain as fire barrier] *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy: Sb. statey po materialam VII Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uch. 29-30 sent. 2016 g.: v 2-kh ch. Ch. 1. FGBOU VO Voronezhskij institut GPS MChS Rossii. Voronezh, 2016. Pp. 134-136.*
2. Bulva I.V. Eremin A.P., Bulva A.D. Primenenie drenchernoy vodyanoy zavesy v kachestve protivopozharnoy pregrady [The application of drencher water curtain as fire barrier] *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2016. No. 2 (40). Pp. 42-48.
3. Vinogradov A.G. Metodika rascheta ekraniruyushchikh svoystv vodnykh zaves [The methodology of calculation of shielding properties of water curtains] *Pozharovzryvbezopasnost'*, 2014. V. 23. No. 1. Pp. 45-54.
4. Vinogradov A.G. Pogloshchenie teplovogo izlucheniya vodyanymi zavesami [The absorption of thermal radiation by water curtain] *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2012. V. 21. No. 7. Pp. 73-82.
5. Vinogradov A. G. ogloshchenie teplovogo izlucheniya vodyanymi zavesami. Chast' 2 [The absorption of thermal radiation by water curtain. Part 2] *Pozharovzryvbezopasnost'*, 2013. V. 22, no. 4. Pp. 72-84.
6. Vinogradov A.G. Ekranirovanie teplovogo izlucheniya polidispersnymi vodyanymi zavesami [The shielding of heat radiation by polydisperse water curtains] *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2013. V. 22. No. 6. Pp. 74-84.
7. Vinogradov A.G. Uchet spektral'nogo sostava teplovogo izlucheniya pri raschete koeffitsienta propuskaniya kapli vody [Spectral composition of the thermal radiation taken into consideration while the calculation of the coefficient of water droplet transmission] *Pozharovzryvbezopasnost'*, 2013. V. 21. No. 9. Pp. 64-73.
8. Coppalle D. Nedelka, and B. Bauer, «Fire Protection: Water Curtains», *Fire Safety J.*, 1993. V. 20. Pp. 241-255.
9. Dembele S., Wen J.X., and J.F. Sacadura «Analysis of the Two-Flux Model for Predicting Water Spray Transmittance in Fire Protection Application», *ASMS J. Heat Transfer*, 2000. V. 122. No. 1. Pp. 183-186.
10. Gur'ev Yu.V. Tkachenko I.V., Eremin Yu.S. Analiz metodov komp'yuternogo modelirovaniya protsessa raspyleniya iz orositelya tonkoraspylennoy vody [Analysis of methods of computer modeling

- of the spraying process from water mist sprinkler] *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2012. V. 21. No. 10. Pp. 77-80.
11. Vinogradov A.G. Primenenie teorii zatoplennykh struy k raschetu parametrov vodyanykh zaves [The application of the theory of flooded jets to the calculation of parameters of water curtains] *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2014. V. 23. No. 5. Pp. 76-87.
 12. *Proektirovanie avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya tonkoraspnylennoy vodoy s primeneniem raspyliteley «Akvamastertm»: Tekhnicheskie usloviya* [The designing of automatic fire-extinguishing systems using water mist nozzles «Akvamastertm»: Specifications] M.: VNIPO, 2008. 76 p.
 13. Vinogradov A.G. Ogurcov S.Yu., Dunyushkin V.A., Benedyuk V.S., Linchevskiy E.A. Eksperimental'noe issledovanie ekranirovaniya teplovogo izlucheniya raspnylennoy vodoy [The experimental research of thermal radiation shielding by sprayed water] *Naukoviy visnik UkrNDSHB*, 2014, No. 2 (30). Pp. 99-108.
 14. Baburov V.P., Baburin V.V., Fomin V.I., Smirnov V.I. *Proizvodstvennaya i pozharnaya avtomatika. Ch. 2. Avtomaticheskie ustanovki pozharotusheniya: Uchebnik* [Production and fire automatics. Part 2. Automatic fire suppression systems: Textbook]. M.: Akademiya GPS MChS Rossii, 2007. 298 p.
 15. Bulva A.D. Primenenie vodyanykh zaves dlya ogranicheniya rasprostraneniya opasnykh primesey v atmosfere [The application of water curtains to limit the spread of hazardous pollutants in the atmosphere] *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2013. No. 9. Pp. 74-81.
 16. Agafontsev M.V. Loboda E.L., Makarova E.A., Reyno V.V. O vybore spektral'nogo intervala pri issledovanii poley temperatury v plameni s pomoshch'yu teplovizora [On the choice of spectral range in the study of flame temperature fields using thermal imager] *Vestnik nauki Sibiri*. 2015. Specvypusk (15). Pp. 37-42.