

**Выводы.** Таким образом, более современные методы обеззараживания воды обладают большим бактерицидным и вируцидным действиями, позволяют очищать без образования побочных продуктов и минимизировать затраты на проведение данной операции.

#### Список литературы

1. Алынин В. М., Волков С. В., Гильбух А. Я. Достоинства и недостатки промышленных методов обеззараживания воды. URL: <http://www.waterland.ru/sfwp-dinpmo/>
2. Специальные методы обработки воды. URL: <http://www.filtrvodi.ru/specialnye-metody-obrabotki-vody>
3. Kryshi I. R. Disinfection of drinking water // Gesundheits Ingenieur. 1985. V. 106. № 1.
4. Обеззараживание – плюсы и минусы разных способов. URL: [https://prom-water.ru/company/baza\\_znanij/rassylka\\_kompanii/obezzarazhivanie\\_plyusy\\_i\\_minusy\\_raznyh\\_sposobov/](https://prom-water.ru/company/baza_znanij/rassylka_kompanii/obezzarazhivanie_plyusy_i_minusy_raznyh_sposobov/)
5. Методические указания МУ 2.1.2.694-98. «Использование ультрафиолетового излучения при обеззараживании воды плавательных бассейнов» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 2 апреля 1998 г.) URL: [http://www.ecocentre.ru/normativy/normativy\\_22.pdf](http://www.ecocentre.ru/normativy/normativy_22.pdf)
6. Авчинников А. В. Гигиеническая оценка современных способов обеззараживания питьевой воды (обзор). Смоленская государственная медицинская академия. Гигиена и санитария. 2001. № 2. С. 11–22.

УДК 614.844

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДРЕНЧЕРНЫХ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ

*Г. Б. Абуова\*, А. Ю. Игаева\*, М. С. Бодня\*, Е. В. Сычева\*\**

*\*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет,  
МБОУ «СОШ № 8» (Россия)*

В работе рассмотрены вопросы о возможном практическом использовании дренчерных водяных завес по экранированию теплового излучения от пожара, а также об использовании модели для сравнения эффективности различных технических средств (распылителей) по указанной характеристике.

**Ключевые слова:** *пожар, водяные завесы, дренчерные установки.*

The paper discusses the possible practical use of deluge water curtains for shielding thermal radiation from fire, as well as the use of a model to compare the efficiency of various technical means (sprayers) with this characteristic.

**Keywords:** *fire, water curtains, deluge installations.*

Способность воды поглощать и рассеивать излучение пожара обуславливает возможность применения водяных завес в условиях пожара для защиты людей и объектов от теплового воздействия. 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).

В работах [1,2] показано, что водяная завеса не способна создавать существенную преграду для опасных факторов пожара, однако она способна выполнять функцию экранирования теплового излучения.

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].

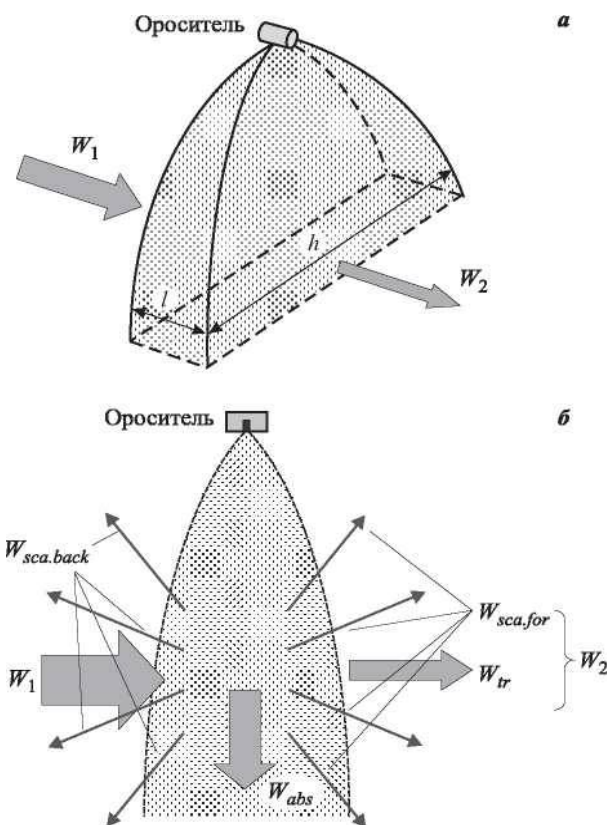
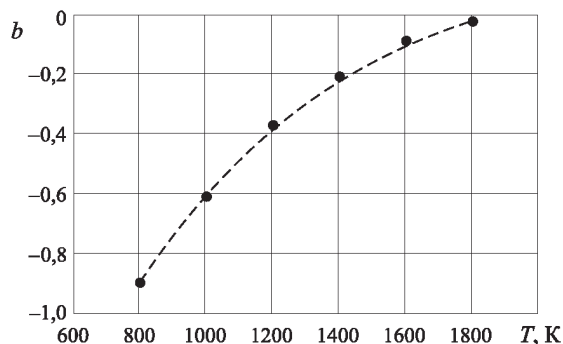
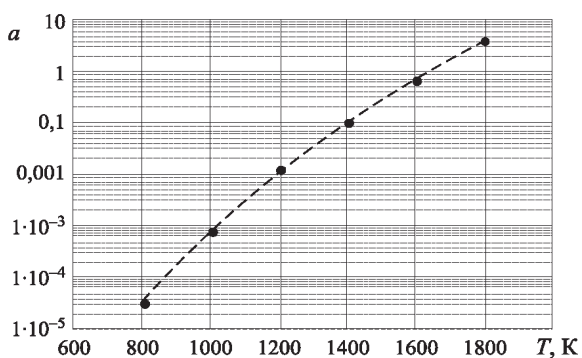


Рис. 1. Схема теплового экранирования водяной завесой



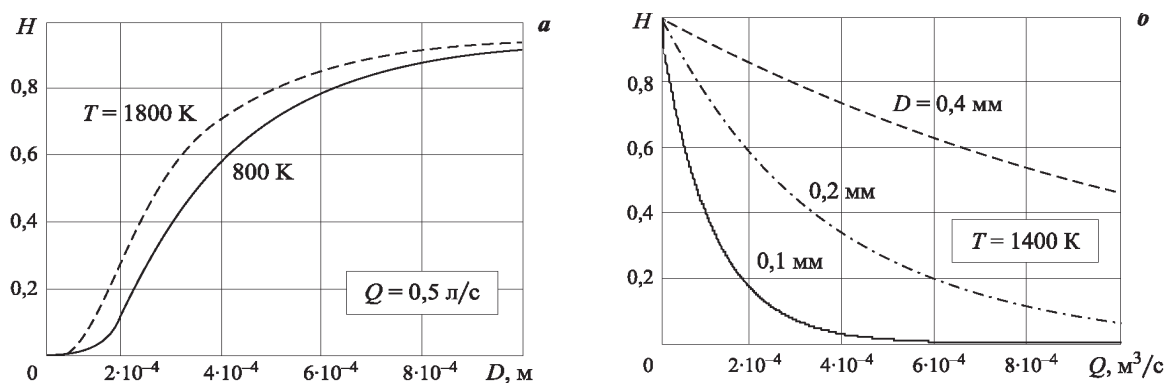


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропуска водяной завесы  $H$  шириной  $h=2$  м от диаметра капель (а-с) и расхода воды (а-б)

Из представленных на рис. 2 графиков, в частности, следует, что типичные для дренчерных установок режимы крупнокапельного распыла ( $D \sim 0,5 \div 1$  мм) малоэффективны для решения задач теплового экранирования (тепловой поток уменьшается не более чем на 25 %). В то же время уменьшение среднего диаметра капель до 0,2 мм и менее позволяет получить многократное ослабление лучистого теплового потока при сравнительно небольшом расходе воды.

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 дрен черных 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 [3-7].

В качестве объекта исследования принят коэффициент поглощения (ослабления) теплового потока водяных завес, формируемых распылителями «Аквамастер-Арсенал», подробные экспериментальные характеристики которых приведены в [12] и оросителями «ДВН-15»,

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 используется радиометр РАП-12Д, установленный на штативе на высоте 0,9 м от пола.

В испытании применялся распределительный трубопровод в две нитки диаметром 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.

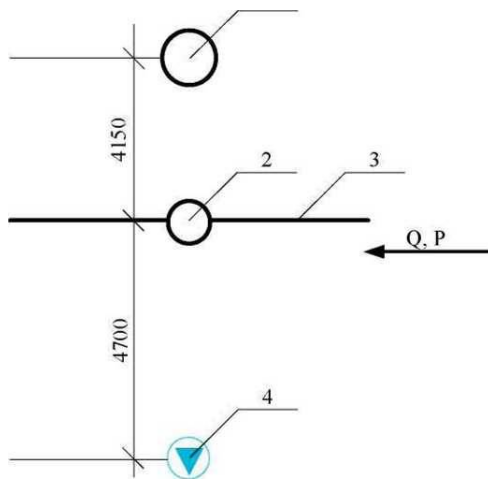


Рис.3. Принципиальная схема испытания (вид сбоку):

- 1 - противень с горючей жидкостью; 2 - ороситель (распылитель);  
3 - нитка трубопровода; 4 - радиометр РАП 12 со штативом

Расстояние от плоскости борта противня до плоскости 1 нитки распределительного трубопровода 4,15 м, до плоскости 2 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

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

где  $\Delta I$  - тепловой поток, поглощенный водяной завесой;

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

В процессе эксперимента было установлено, что  $I_0 = 0,29$  кВт/м<sup>2</sup>.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Тип оросителя (распылителя)	<i>n</i> , шт.	<i>K</i>	<i>P</i> , МПа	<i>Q</i> , л/с	<i>l<sub>n</sub></i> , Вт/м <sup>2</sup>	<i>I</i> , Вт/м <sup>2</sup>	$\Delta_{эф}^3$ , %
Распылитель «Аквамастер-Арсенал»	1	0,22	0,3	1,2	290	80	45
		0,22	1,0	2,2	290	70	76
Ороситель «ДВН-15»	1	0,47	0,3	2,57	290	125	57
		0,47	0,7	3,93	290	58	80

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 можно посредством применения теории затопленных струй [11].

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 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, м<sup>3</sup>/с;

$S_{op}$  - площадь орошения, м<sup>2</sup>.

Расход из распылителя  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, можно определить по формуле [14]:

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

где  $K$  - коэффициент производительности распылителя;

$P$  - давление на выходе из сопла оросителя, МПа.

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  $U_0$  - скорость потока струи на начальном участке, м/с, определяемая по формуле

$$\left[ \sum_{j,h,m,b,v,g,h} dgh U_0 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_0^2} \right]; \quad (5)$$

$d_0$  - диаметр сопла распылителя, м.

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 капель  $D_{cq}$ :

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

где  $\psi$  - 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]:

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

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

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

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

Где  $T$  - 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]:

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

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

Приведем пример расчета экранирующих свойств водяных завес для оросителя «ДВН-15» 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 на выходе из сопла -  $P = 0,3$  МПа;

коэффициент производительности оросителя -  $K = 0,47$ ;

условный диаметр выходного отверстия -  $d_0 = 15 \times 10^{-3}$  м;

плотность воздуха  $\rho_{\text{возд.}} = 1,293$  кг/м<sup>3</sup>;

плотность воды  $\rho_{\text{вод}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;

температура горения бензина - 1573 К;

Расход из оросителя определяем по формуле (3):

$$Q = \frac{0,47 \cdot \sqrt{0,3}}{100} = 25,74 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

толщина осажденного слоя для оросителя «ДВН-15»:

$$l_s = \frac{Q}{S_{\text{ор}}} = \frac{25,74 \cdot 10^{-4}}{12} = 2,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Здесь следует отметить, что толщина осажденного слоя для одиночного устройства определена с помощью графического анализа эпюры орошения и изменения площади орошения с высотой, что оказывает существенное влияние на толщину осажденного слоя.

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

$$U_0 = \frac{4 \cdot 25,74 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot (15 \cdot 10^{-3})^2} = 1,47 \text{ м/с}.$$

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

$$D_{eq} = 0,02108 \cdot 1,47^{\frac{4}{3}} \cdot (15 \cdot 10^{-3})^{\frac{1}{12}} = 2,46 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

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

$$\eta(\psi, D_{eq}) = (1 - 0,7) \cdot 0,131 + 0,7 \cdot 0,001 = 0,039$$

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):

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

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

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

$$\eta(0, D_{eq}) = 0,444 \cdot (2,46 \cdot 10^{-2})^{-0,113} - 0,806 = -0,131$$

$$\eta(1, D_{eq}) = 1,8 \cdot 10^{-7} \cdot (2,46 \cdot 10^{-2})^{-1,47} - 2 \cdot 10^{-3} = 0,001$$

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

$$H = \exp \left[ -1,4 \cdot (1 - 0,039) \cdot \frac{2,15 \cdot 10^{-4}}{2,46 \cdot 10^{-2}} \right] = 0,344$$

Тогда тепловое излучение, прошедшее через завесу:

$$I_1 = I_0 \cdot H = 0,29 \cdot 0,344 = 0,100 \text{ кВт/м}^2$$

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

$$\Delta_{\text{эф}}^p = \frac{0,29 - 0,100}{0,29} \cdot 100\% = 65,5\%$$

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

Таблица 2

Результаты расчета по методу А. Г. Виноградова

Тип оросителя (распылителя)	n, шт.	K	P, МПа	Q, л/с	l <sub>0</sub> , Вм/м <sup>2</sup>	I, Вм/м <sup>2</sup>	Δ <sub>эф</sub> <sup>p</sup> , %
Распылитель «Аквастер- Арсенал»	1	0,22	0,3	1,2	290	184	36,7
		0,22	1,0	2,2	290	53	81,7
Ороситель «ДВН-15»	1	0,47	0,3	2,57	290	100	65,5
		0,47	0,7	3,93	290	17	94,1

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

Таблица 3

Результаты сравнения экспериментальной и расчетной экранирующей эффективности водяной завесы

Тип оросителя (распылителя)	n, шт	Δ <sub>эф</sub> <sup>э</sup> , %	Δ <sub>эф</sub> <sup>p</sup> , %	δ =  Δ <sub>эф</sub> <sup>p</sup> - Δ <sub>эф</sub> <sup>э</sup>
Распылитель «Аквастер-Арсенал»	1	45	36,7	8,2
		76	81,7	5,7
Ороситель «ДВН-15»	1	67	65,5	1,5
		90	94,1	4,1

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.

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.

**Список литературы**

1. Булва И. В. Пространственное распределение опасных факторов пожара с учетом работы водяной завесы в качестве противопожарной преграды // 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. I. Воронеж : Воронежский институт ГПС МЧС России. 2016. С. 134–136.



2. Булва И. В., Еремин А. П., Булва А. Д. Применение дрен-черной водяной завесы в качестве противопожарной преграды // 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 полидисперсным и 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. CorraPe D. Nedelka and Bauer B. Fire Protection: Water Curtains // Fire Safety J. Vol. 20. PP. 241–255. 1993.
9. Dembele S., Wen J. X. and Sacadura J. F. Analysis of the Two-Flux Model for Predicting Water Spray Transmittance in Fire Protection Application // ASMS J. Heat Transfer. Vol. 122. № 1. PP. 183–186. 2000.
10. Гурьев Ю. В., Ткаченко И. В., Еремин Ю. С. Анализ методов компьютерного моделирования процесса распыления из оросителя тонкораспыленной воды // 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. Экспериментальное исследование экранирования теплового излучения распыленной водой / А.Г. Виноградов [и др.] // Науковий Вісник УкрНДШБ. 2014. № 2 (30). С. 99–108.
14. Бабуров В. П., Бабурин В. В., Фомин В. И., Смирнов В. И. Производственная и пожарная автоматика. Ч. 2. Автоматические установки пожаротушения : учебник. М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. 298 с.
15. Булва А. Д. Применение водяных завес для ограничения распространения опасных примесей в атмосфере // Пожаровзрывобезопасность. 2013. № 9. С. 74–81.
16. О выборе спектрального интервала при исследовании полей температуры в пламени с помощью тепловизора / М. В. Агафонцев [и др.] // Вестник науки Сибири. 2015. Спецвыпуск (15). С. 37–42.

УДК 697.1

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПАССИВНОГО СОЛНЕЧНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

***Ю. А. Аляутдинова, А. С. Луцев***

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет  
(Россия)*

Солнечная энергия – один из самых немногих экологически чистых и безопасных вид энергии. Есть разные способы ее применения. Приведен анализ пассивного использования солнечной энергии с помощью строительных конструкций здания.