

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ ТЕПЛООБМЕНА ПОЛИДИСПЕРСНОЙ КАПЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Халиков Р.В.

адъюнкт

факультета подготовки

научно-педагогических кадров

Академии ГПС МЧС России

капитан внутренней службы

Электронная почта: vokilah@rambler.ru

Аннотация: В исследовании установлено, что успешное тушение пожаров высокодисперсными водными средами зависит от площади теплообмена. Определены проблемы расчета площади теплообмена для полидисперсных капельных сред. Предложено использование арифметической прогрессии для определения площади теплообмена.

Ключевые слова: *водная среда, тушение пожаров, моделирование, пожаровзрывобезопасность.*

Abstracts: The study found that the successful extinguishing of fires by highly dispersed water media depends on the heat exchange area. The problems of calculating the heat exchange area for polydisperse droplet media are determined. The use of arithmetic progression to determine the heat exchange area is proposed.

Keywords: water environment, fire extinguishing, modeling, fire and explosion safety.

Сравнение геометрических и временных показателей пожаров в замкнутых объемах и пожаров на открытом пространстве показал, что средняя площадь пожаров в замкнутых объемах более чем 1,4 раза меньше средней площади пожаров на открытых пространствах, но среднее время ликвидации пожара в замкнутых объемах в 1,5 раза больше, чем на открытом пространстве. Основной причиной этого является то, что тушение пожаров в замкнутых объемах осложняется высокой температурой и плотным задымлением, что осложняет подачу огнетушащего вещества в очаг пожара и, как следствие, приводит к низкой эффективности объемного пожаротушения. Для решения данных проблем в работах [1-4] предложено использовать паро-капельную среду с размером капель 0,01-10 мкм, полученную в результате взрывного вскипания недогретой воды. Данная среда обладает следующими механизмами тушения: охлаждение; изоляция; разбавление; ингибирование (ингибирование - за счет присутствия паровой фазы). Тем не менее, как для процесса охлаждения,

так и для процесса ингибирования необходим аналитический расчёт площади теплообмена капельной фазы. Основная сложность расчета площади теплообмена для полидисперсной капельной среды заключается в нахождении универсального способа расчета как для бимодального, тримодального так и полимодального распределения капель в среде, при сохранении высокой степени соответствия теоретических расчетов и действительным характеристикам. Рассмотрим возможность применения арифметической прогрессии для расчета площади теплообмена на примере бимодального распределения.

Для нахождения площади теплообмена капель при бимодальном распределении в первом приближении возможно представить его виде суммы двух нормальных [5]. Для это случая произведём следующие аналитические расчеты:

Определяем площадь теплообмена всех капель как сумму площадей капель с идентичными радиусами:

$$S_{\text{общ}} = S_1 + S_2 + \dots + S_n = 4\pi * (R_1^2 \times N_1 + R_2^2 \times N_2 + \dots + R_n^2 \times N_n) \quad (1)$$

где, $S_{\text{общ}}$ – общая площадь боковой поверхности капель, м^2 ; S_0, S_1, S_2, S_n – общая площадь боковой каждой из групп капель, сформировавшихся на выходе из ствола, м^2 ; N_1, N_2, N_n – количество капель в группе с определенным радиусом, шт.; R_1, R_2, R_n – радиусы капель определенных групп соответственно; м

Таким образом работа сводится к нахождению зависимостей R_n и N_n в общем виде через величины, полученные по результатам экспериментов. Радиус капель любой группы может быть найден, используя средний радиус распределения. Предположим, что группы капель формируется хаотично, тогда при повторениях опытов с подачей воды из сопел будут формироваться различные группы капель, а это не так, соответственно обратное предположение не верно. Для нахождения закона распределения величин капель введем переменную Δr – величину изменения радиуса капель в среде ТАВ. Тогда в общем случае радиус капли R_n может быть найден как:

$$R_n = R_{\text{сред}} \quad (2)$$

где, $R_{\text{сред}}$ – средний радиус капель, м.

Для нахождения количества капель в каждой группе воспользуемся законом нормального распределения Гаусса $F(R)$ и запишем его для формирования капельной среды ТАВ:

$$F(R) = \frac{1}{R_{\text{общ}} * \sqrt{2\pi}} \times e^{\frac{-(R)^2}{2R_{\text{общ}}^2}} \quad (3)$$

где, $R_{\text{общ}}$ – дисперсия распределения капель, м.

Тогда закон изменения количества капель каждой группы N_n будет выглядеть следующим образом:

$$N_n = \frac{F(R_n)}{F(R_{\text{сред}})} = e^{-\left(\frac{R_{\text{сред}}}{\sqrt{2} \cdot R_{\text{общ}}}\right)^2} \quad (4)$$

где, n – порядковый номер группы распадаения.

Полученное выражение 4 подставляем в формулу 1 для нахождения площади боковой поверхности используя закон суммы для арифметической прогрессии:

$$\begin{aligned} S_{\text{общ}} &= S_0 + S_1 + S_2 + \dots + S_n = 4\pi \times (R_1^2 \times N_1 + R_2^2 \times N_2 + \dots + R_n^2 \times N_n) \\ &= 4\pi \times ([R_{\text{сред}}]^2 \times e^{-\left(\frac{R_{\text{сред}}}{\sqrt{2} \cdot R_{\text{общ}}}\right)^2}) \end{aligned} \quad (5)$$

Полученное выражение 5 устанавливает зависимость между создаваемой площадью теплообмена струями ТАВ и средним радиусом капель. Однако общее представление среднего радиуса не применимо для рассматриваемой задачи, так как выражение для нахождения среднего значения при бимодальном распределении [5] лишено физического смысла. Капли с данным радиусом не будут существовать в действительности, поэтому судить об охлаждающей способности полидисперсных струй воды необходимо используя иное понятие среднего, применимого для данной задачи.

Для практического применения используются следующие способы представления и нахождения среднего диаметра [5], данные по сравнению приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика методов определения среднего диаметра капель

№ п/п	Наименование	Подход к нахождению диаметра	Необходимость высокой сходимости диаметров капель	Реальное существование капли с найденным диаметром
1.	D_{v10} (10% объемный диаметр)	объемный	нет	да
2.	D_{10} (средний арифметический диаметр)	поверхностный	да	Нет
3.	D_{20} (средний поверхностный диаметр)	поверхностный	да	нет
4.	D_{30} (средний объемный диаметр)	объемный	да	да
5.	D_{43} (средний массовый диаметр)	объемно-массовый	да	да
6.	D_{32} (средний диаметр Заутера)	объемно-поверхностный	нет	да

Анализ таблицы 1 показал, что для решения задачи по нахождению площади теплообмена струями ТАВ целесообразно использовать метод нахождения среднего диаметра по Заутеру, тогда выражение 5 примет вид:

$$S_{\text{общ}} = \frac{1}{16} \pi \times ([R]^2 \times e^{-\left(\frac{R}{8\sqrt{2} \cdot R_{\text{общ}}}\right)^2}) \quad (6)$$

где, R – математическое ожидание радиуса капли каждой из групп, м.

Анализируя уравнение 6 делаем вывод, что наилучшую способность к охлаждению будут иметь струи полидисперсной водной среды в которых математическое ожидание будет наибольшим для первой моды.

Литература

1. Роечко В.В., Кармес А.П. Технология температурно-активированной воды: физическая сущность, история разработки, перспективы развития / В.В. Роечко, А.П. Кармес // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация – 2008. - № 1. – с. 15-19.
2. А.И. Соковнин, В.В. Роечко, А.Д. Ищенко Осаждение дыма на объектах энергетики температурно-активированной водой. [Электронный ресурс] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2016. № 1. С. 54-59. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25673297> (дата обращения 01.09.2021)
3. Роечко В. В., Ищенко А. Д., Краснов С. М., Храмов С. П., Соковнин А. И. Объёмный способ прекращения открытого горения в помещениях объектов энергетики [Электронный ресурс] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2016. № 2. С. 36-42. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26508527> (дата обращения 05.09.2021)
4. В.В. Роечко, А.Д. Ищенко, С.М. Краснов, С.П. Храмов, А.И. Соковнин Тушение пламени в протяжённых замкнутых сооружениях энергообъектов. [Электронный ресурс] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2016. № 3. С. 44-49. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27114551> (дата обращения 01.09.2021)
5. Халиков, Р.В. Оценка электропроводимости струй температурно-активированной воды с дозированием ингибирующей соли для тушения электрооборудования ГКС [Текст] / Р.В. Халиков, Роечко В.В., Чистяков Т.И., Тараканов Д.В. // Пожаровзрывобезопасность. – 2021. – Т.30. – №1. – С. 64-74.