

канд. техн. наук **В.М. БАЛАНЮК / V.M. BALANYUK¹**
Д.А. ЖУРБИНСКИЙ / D.A. ZHURBINSKIY²

Przyjęty/Accepted/Принята: 16.08.2013;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 09.12.2013;
Opublikowany/Published/Опубликована: 20.12.2013;

ФЛЕГМАТИЗАЦИЯ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНОЙ СМЕСЬЮ ГОРЮЧИХ СИСТЕМ

Phlegmatisation of Flammable Gas Mixtures by Aerosol Sprays

Flegmatyzacja aerozolami mieszanin palnych

Аннотация

Рассмотрены особенности взаимодействия и процесса тушения газоаэрозольными смесями горючих паровоздушных систем на примере гексановоздушной смеси. Рассмотрено мнение о том, что природа огнетушащей способности аэрозолей является комбинированной - аэрозоль действует одновременно и как тепловой флегматизатор, и как химический ингибитор. Установлено что средняя флегматизирующая концентрация газоаэрозольной смеси для гексановоздушных смесей составляет около 50 г/м³. При добавлении к газоаэрозольной смеси CO₂ в концентрации от 3 до 9 % наблюдалось существенное повышение флегматизирующей эффективности газоаэрозольной смеси. Флегматизирующая эффективность аэрозоля при этом составляла соответственно 40 г/м³ и 15 г/м³. Эти результаты дают основание утверждать, что теплофизические свойства газовой фазы значительно влияют на флегматизирующую эффективность газоаэрозолей.

Ключевые слова: огнетушащие аэрозоли, флегматизаторы, газоаэрозольное пожаротушение, ингибиторы горения, газоаэрозоли;
Вид статьи: оригинальная научная статья

Abstract

The article presents and discusses the features of interaction and extinguishing process of flammable gas mixtures on the example of hexane-air mixture extinguished by aerosols. The authors considered the assumption that the nature of the fire-extinguishing aerosol is twofold – aerosol acts both as a thermal retarder and as a thermal chemical inhibitor. It was found that the average concentration of retarder gas aerosol mixture for hexane-air mixture is app. 50 g/m³. The authors observed significant increase of the efficiency of flammable gas-aerosol mixture after addition to the gas-aerosol mixture CO₂ in concentration 3-9 %. Phlegmatizing efficiency of aerosol in this case was respectively 40 g/m³ and 15 g/m³. These results suggest that the thermal properties of the gas phase significantly affect the efficiency of phlegmatizing gas-aerosol spray.

Keywords: fire-extinguishing aerosols, retarders, fire-extinguishing aerosol spray, fire retardant, gas-aerosol spray;

Type of article: original scientific article

Abstrakt

W artykule omówiona została charakterystyka procesu gaszenia aerozolem gaśniczym mieszanin palnych (mieszanin paliwa i utleniacza) na przykładzie mieszaniny heksanu i powietrza. W artykule opisano wzajemne oddziaływanie aerozoli i mieszanin palnych. Ponadto, autorzy omówili przekonanie o tym, iż charakter właściwości gaśniczych aerozoli jest dwójaki – aэрозол oddziałuje jednocześnie w roli flegmatyzatora cieplnego, a także inhibitora chemicznego. Ustalono, iż średnia koncentracja flegmatyzująca mieszaniny aerozolowej dla mieszanin heksanu i powietrza wynosi około 50 g/m³. Przy dodaniu do mieszaniny aerozolowej CO₂ o koncentracji od 3 do 9% obserwuje się znaczne zwiększenie skuteczności flegmatyzującej aerozolu. Skuteczność flegmatyzacji aerozolu przy tym wyniosła odpowiednio 40 g/m³ i 14 g/m³. Otrzymane wyniki dają podstawę aby twierdzić, iż właściwości cieplne i fizyczne fazy gazowej wpływają znacznie na skuteczność aerozoli w procesie flegmatyzacji.

¹ Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности; Адрес: Украина, 79000, Львов, ул. Клепаровская, 35; электронная почта Balanyk@rambler.ru; фактический вклад – 70% / Lviv State University of Life Safety; address: Ukraine, 79000, Kleparivska St., 35; e-mail: Balanyk@rambler.ru percentage contribution – 70%;

² Черкасская академия пожарной безопасности; Адрес: Украина, 18034, Черкасы, ул. Оноприенка 8; электронная почта: zhurbinskiy@mail.ru; фактический вклад – 30% / Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes, Onoprienka St., 8; e-mail: zhurbinskiy@mail.ru; percentage contribution – 30%;

Słowa kluczowe: aerozole gaśnicze, flegmatyzatory, gaszenie aerozolami, inhibitory spalania, aerozole;

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

1. Введение

Эффективность предупреждения пожаров и взрывов является актуальным вопросом в связи с тенденцией постоянного роста пожарной нагрузки и расширения спектра горючих веществ, которые обладают высокой взрывопожароопасностью. На объектах промышленности к современным средствам предупреждения пожаров и взрывов сегодня относят в основном газовые системы пожаротушения и флегматизации, но их эффективность недостаточна для обеспечения соответствующего уровня взрывопожаробезопасности. Кроме того, на конференции ООН по климатическим изменениям на планете, которая проходила в Варшаве, остро стоял вопрос выброса углерода в атмосферу. При горении АОС, в атмосферу выбрасывается значительно меньше CO_2 , который обеспечивает лучший огнетушащий и флегматизирующий эффект в газоаэрозольной смеси. Использование газоаэрозольных смесей позволит существенно повысить флегматизирующую эффективность таких средств при сохранении экономической чистоты огнетушащего агента.

Раскрытие особенностей взаимного влияния компонентов газоаэрозольных смесей на процессы флегматизации гомогенных горючих систем в замкнутых помещениях является актуальной научно-технической задачей. Решение этой задачи является научным основанием создания флегматизационных систем на основе газоаэрозольных смесей, для противопожарной защиты объектов различного назначения, с возможностью возникновения на них пожаров классов А, В и С.

Таким образом, поиск решений научных задач, направленных на повышение эффективности противопожарной защиты объектов, является актуальным и необходимым.

2. Дискуссия о методах и результатах

Существующее на данный момент большое количество аэрозолеобразующих составов, для тушения пожара в большинстве состоит из типичных компонентов. В качестве окислителей используются: нитрат калия, перхлорат калия, хлорнокислый калий (40-80%), в качестве топлива и одновременно пластификатора-связующего в большинстве случаев выступают эпоксидные и фенол - формальдегидные смолы, каучуки и другие органические и неорганические горючие компоненты, дополнительные компоненты газообразователи: углерод, дициандиаמיד, дифениламин, гуанидин, мочевины, органические полимеры, и другие вещества, а также спецдобавки, катализаторы и ингибиторы горения, предназначенные для устранения форса пламени, ускорения или торможения процесса горения аэрозольобразующих составов [1-3].

Огнетушащие аэрозоли, образующиеся в результате сгорания аэрозольобразующих смесей (АОС), которые содержат одновременно как тепловые флегма-

тизаторы (CO_2 , N_2 , H_2O), так и химические ингибиторы (K_2CO_3 , KHCO_3 , KCl , NH_4HCO_3 , KOH , KHCO_3 , KCl , KNO_2), образуются при сгорании АОС. Характеристики и состав аэрозоля приведены в таблице 1[4].

Дисперсность большинства образующихся частиц составляет от 1 до 5 мкм. Конечный состав огнетушащего аэрозоля определяется исходной рецептурой аэрозолеобразующего вещества. В некоторой степени он также зависит от конструкции ГВА. Согласно нормативным актам в технической документации для ГВА должны быть указаны количество и состав продуктов, образующихся при работе газоаэрозольного генератора [5].

Вследствие малых размеров частиц (от 0,01 мкм до 10 мкм) огнетушащий аэрозоль способен длительное время находиться во взвешенном состоянии, занимая весь защищаемый объем. В газовой фазе продуктов горения АОС преобладают азот и диоксид углерода.

Как следствие сказанного выше, наибольшей огнетушащей эффективностью обладают газозаэрозоли, частицы которых имеют наименьшие размеры, такие как: СТК-2мд, ПТ-4, ПТ-50, которые при сгорании образуют частицы $D < 1$ (52%) $D = 1-2^*$ (24%) $D = 2-5$ (16%) $D > 5$ (8%), а также АОС ПТ-4, ПТ-50 $D < 1$ (60%) $D = 1-2^*$ (22%) $D = 2-5$ (10%) $D > 5$ (8%). Также основными компонентами в результате сгорания АОС во всех случаях, как видно из таблицы, есть карбонаты, хлориды, гидрокарбонаты, гидроксиды, а также инертные газы.

Эффективность и механизм объемного аэрозольного тушения определяют такими основными явлениями: ингибирование химических реакций в пламени новообразованными высокодисперсными твердыми частицами аэрозоля (K_2CO_3 , KCl , KOH , KHCO_3), разбавления горючей среды двуокисью (диоксидом) углерода, азотом, парами воды, охлаждение зоны горения аэрозодем. Именно получение аэрозоля непосредственно в момент тушения пожара способствует повышению его огнетушащей способности за счет эффекта «свежей», т.е. активной, поверхности частиц, участвующих в процессе рекомбинации радикалов пламени [6]. Высокая дисперсность образующегося аэрозоля, способствует резкому увеличению времени витания, а следовательно, и времени пребывания частиц в пламени. Время жизни аэрозоля может составлять 40-50 минут [7]. Структура аэрозоля изменяется на протяжении всего времени его существования, с момента образования аэрозоля при сгорании АОС – до его исчезновения. В момент образования аэрозоля, при сгорании с каждого грамма АОС образуется 0,3-0,5 л газоаэрозольной смеси. При взаимодействии аэрозольных частиц образуется сложная система, состав и структура которой постоянно меняются со временем. Так, в момент образования аэрозоля система состоит из ультрадисперсных частиц солей калия, которые могут формировать структуры с содержанием воды и CO_2 .

Таблица 1

Характеристики газоаэрозольной смеси [4]

Table 1

Features of gas-aerosol spray [4]

№ п/п	Компоненты АОС / Components of aerosol forming components	Химический состав АОС / Chemical composition of aerosol forming components	Размер частиц аэрозоля. Д / Size of aerosol molecules	Огнетушительная концентрация г/м ³ / Extinguishing concentration g/m ³
1	СТК-5-1. (Идитол, KNO ₃ (техн.) добавки, Ø 160 мкм) / (iditol, KNO ₃ (tech.), additions Ø 160 мкм micrometres)	K ₂ CO ₃ *2H ₂ O, KOH, KNO ₂ , CO ₂ N ₂	<2 (42) 2-5 (38) >5 (20)	65-68
2	СТК-2МД. (МГИФ) (Идитол, KNO ₃ (техн.) ДЦДА тех. добавки, Ø <160 мкм) / (Iditol, KNO ₃ (tech.), dicyandiamide, technical additions, Ø < 160 micrometres)	K ₂ CO ₃ *2H ₂ O, KHCO ₃ , KnOm, KOH, NH ₄ HCO ₃ , CO ₂ , CO, N ₂	<1 (52) 1-2 (24) 2-5 (16) >5 (8)	38-42
3	СТК-НТ. (СТК-24МФ) (Идитол, KNO ₃ (техн.) добавки, Ø 200 мкм) / (Iditol, KNO ₃ (tech.), additions, Ø 200 micrometres)	K ₂ CO ₃ *2H ₂ O, KOH, KNO ₂ , CO ₂ , N ₂	<2 (32) 2-5 (42) >5 (26) >5 (8)	140-155
4	Л (ПАС-11-8, Е-1) (ЕД/пласт/отв.) KNO ₃ , KClO ₄ , ± Mg, техн. добавки Ø <160 мкм / KNO ₃ , KClO ₄ , ± Mg, tech. additions Ø <160 micrometres)	K ₂ CO ₃ *2H ₂ O KHCO ₃ , C, KOH, KCL, ± MgO, CO ₂ N ₂	<1 (40) 1-2 (22) 2-5 (20) >5 (18)	45-52
5	ПАС47М (ПЕ /пласт/ отв. KNO ₃ , KClO ₄ , NaCl) техн. добавки Ø <160 мкм / ПАС47М (ПЕ /пласт/ отв. KNO ₃ , KClO ₄ , NaCl) tech. additionas Ø <160 micrometres)	K ₂ CO ₃ *2H ₂ O, C, KOH, KCL ± NaClCO ₂ N ₂	<1 (36) 1-2 (20) 2-5 (24) >5 (20)	54-56
6	ТЧ (ПТ-4, ПТ-50) НЦ/пласт KNO ₃ , техн. добавки Ø <160 мкм / ТЧ (ПТ-4, ПТ-50) НЦ/пласт KNO ₃ , tech. additions Ø <160 micrometres)	K ₂ CO ₃ *2H ₂ O, C, KHCO ₃ , KNO ₂ , KOH, CO ₂ , N ₂ , CO, N, *O _y	<1 (60) 1-2 (22) 2-5 (10) >5 (8)	33-39
7	Багп1 (Лактоза, KNO ₃ (техн.) KClO ₄ , ДЦДА тех. добавки, Ø <160 мкм) / Багп1 (Lactose, KNO ₃ (tech.) KClO ₄ , dicyandiamide tech. additionas, Ø <160 micrometres)	K ₂ CO ₃ *2H ₂ O, C, KHCO ₃ , KNO ₂ , KOH, CO ₂ , N ₂ , CO, N, *O _y		18-22

Такие структуры будут оказывать гораздо более эффективное огнетушащее действие за счет комбинированного действия ингибиторов и флегматизаторов [8]. Огнетушащий аэрозоль, образующийся при сгорании рецептур, содержащих дополнительно газификатор-дициандиамида, дифениламин и другие, обладает более высокой огнетушащей эффективностью, чем другие АОС [9]. Кроме того, с уменьшением концентрации кислорода и одновременном увеличении концентрации (CO₂, H₂O, N₂) огнетушащая эффективность газоаэрозольных смесей возрастает, что отражается в уменьшении необходимой огнетушащей массы АОС и огнетушащей концентрации газоаэрозольных смесей. Согласно работе [10], концентрация образованных инертных газов мала, следовательно, их самостоятельное влияние на процесс прекращения горения является минимальным, снижение концентрации кислорода также является минимальным и достаточ-

ным для поддержания горения, соответственно, роль газовой фазы по повышению огнетушащей эффективности аэрозолей можно объяснить тем, что компоненты газовой фазы CO₂ и H₂O могут способствовать дополнительному разбавлению газовой системы. Как указано в работе [11], при увеличении влажности огнетушащая эффективность солей металлов K, Na растет. При горении АОС, как уже было сказано, образуется K₂O, который может реагировать с CO₂, или H₂O с образованием K₂CO₃, или KOH, или одновременно с CO₂ и H₂O с образованием KHCO₃. В этих случаях объем газовой фазы, а соответственно и аэрозоль, уменьшается, что приводит к увеличению концентрации твердой фазы в единице объема аэрозоля. Характеристики количества солей и объема газов, которые образуются при сгорании АОС, приведены в таблице 2.

Характеристики рецептур АОС на основе органических топлив

Recipes features of aerosol forming compounds on the basis organic fuels

Соотношение компонентов АОС [% масс] / Proportion of aerosol forming compounds (AFC) [% of mass]			Продукты горения Combustion products						
			твердая фаза / solid phase г/г АОС		газовая фаза / gas phase Vл/г АОС			V газов л/г АОС AFC	
Горючее Fuel		KNO ₃	KClO ₄	K ₂ O	KCl	CO ₂	H ₂ O	N ₂	
Идитол / Iditol	17	83	-	0,3832	-	0,2522	0,1164	0,0916	0,4604
Лактоза / Lactose	32	68	-	0,3186	-	0,2354	0,2354	0,075	0,5468
Углерод / Carbon dioxide	16	84	-	0,3910	-	0,2982	-	0,0932	0,3913
Идитол / Iditol	15	69	16	0,3219	0,0875	0,2118	0,0977	0,0767	0,3862
Лактоза / Lactose	27,6	60	12,4	0,2793	0,0250	0,2063	0,2063	0,0666	0,4792
Углерод / Carbon dioxide	13	70	17	0,3254	0,0904	0,2481	-	0,0775	0,3256

Аэрозоль, находясь во взвешенном состоянии, способен поддерживать огнетушащую концентрацию во всем защищаемом объеме достаточно длительное время. Таким образом, в газоаэрозольной системе реализуются преимущества огнетушащего действия порошков и газовых средств при тушении объемным способом и флегматизации, а аэрозоль при поглощении CO₂ и H₂O возможно становится транспортером этих газов, в частности к месту тушения. Таким образом концентрации этих газов во времени будут сжигаться [8].

Как видно из таблицы 2, объем образующихся газов, составляет до 0,5 л с 1 г, чего достаточно для создания газа при флегматизационной концентрации от 25 до 50 л. При флегматизирующей концентрации 50 г/м³ и составит до 0,9 % по объему, и чего совершенно недостаточно, для создания флегматизационной концентрации только CO₂, так как флегматизационные концентрации для CO₂, N₂ и водяного пара значительно больше, и составляют от 26 до 55 %. Исходя из этого, приходим к выводу, что флегматизационная эффективность будет определяться суммарным действием факторов, основными из которых будут инги-

бирующий и теплопоглощающий эффекты, действие которых необходимо проанализировать для различных АОС. Соответственно, можно предположить, что АОС с различными коэффициентами газообразования будут владеть и разной флегматизационной эффективностью. Таким образом, возникает необходимость экспериментально определить флегматизационную эффективность указанных аэрозольобразовательных составов и теоретически рассмотреть факторы взаимного влияния газов и аэрозольных частиц на процесс флегматизации и тушения горючих систем. Экспериментальное определение флегматизационной эффективности указанных аэрозольобразующих составов проводилось по следующей методике.

В качестве горючего использовали гексан C₆H₁₄. В цилиндр объемом 0,5 л вносили и поджигали нужную навеску АОС, после чего вводили необходимое количество газа и соответствующее количество гексана, перемешивали вентилятором и поджигали воспламенителем. Раскадровку взрыва гексановоздушной смеси показано на рис. 1. Время взрыва составляет 0,25 с. Концентрация C₆H₁₄ – стехиометрическая, концентрация аэрозоля – 30 г/м³, концентрация CO₂ – 7%.

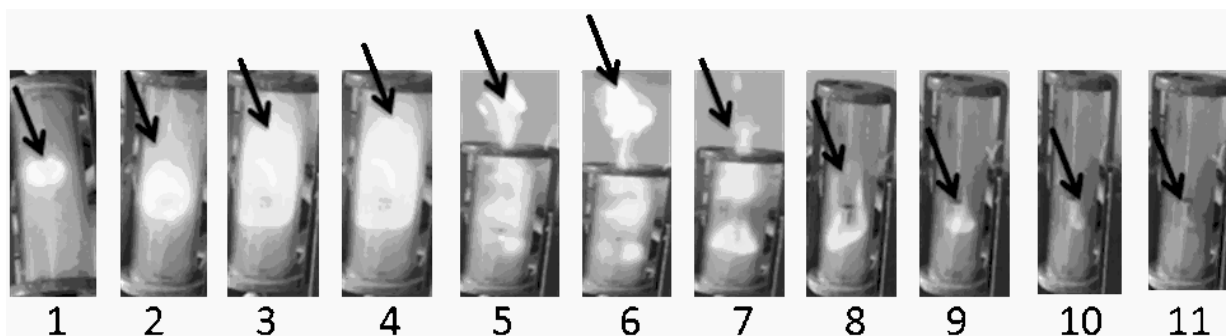


Рис. 1. Распространение пламени при флегматизации стехиометрической гексановоздушной смеси газоаэрозолем
Fig. 1. Flame spread during desensitization of stoichiometric mixture of hexane and air using gas-aerosol spray

После возгорания паровоздушной смеси, при наличии аэрозоля, четко наблюдался эффект замедления распространения пламени. В некоторых случаях, даже при концентрациях гексана, близких к стехиометрическим, и концентрациях аэрозоля 45-51 г/м³, наблюдалось частичное распространение пламени по объему паровоздушной смеси. Как видно на рис. 1 (позиции 1-8), распространение пламени, происходило только вверх, в виде круглой сферы от источника зажигания без распространения по всей смеси. Нижний край пламени оставался приблизительно на одном уровне. В позиции 5-11 (рис. 1) показан фронт пламени, уже при затухании взрыва, нижняя часть оставалась на прежнем уровне. При добавлении к аэрозолю 2 % CO₂, скорость пламени еще больше уменьшилась. Время сгорания смеси при этом увеличилось до 0,35 с.

Исходя из результатов, полученных при проведении эксперимента по определению флегматизационной концентрации газоаэрозоля на основе неорганических солей калия, можно сделать вывод, что аэрозоль, полученный в результате сгорания указанных АОС, обладает высокой флегматизационной эффективностью за счет ингибирующих компонентов и газов флегматизаторов, входящих в состав аэрозоля. Причем, огнеподавляющее действие аэрозоля подтверждается комбинированным совместным действием газов-флегматизаторов и аэрозольных ингибиторов. Это приводит к существенному флегматизационному эффекту за счет синергического действия между солями аэрозоля и газами, которые образуются при сгорании аэрозольобразующего соединения. Таким образом, добавки углекислого газа и азота приводят к повышению огнетушащей эффективности. Феноменологически это совпадает с мнением о том, что повышение огнеподавляющей эффективности газоаэрозольной смеси возможно при образовании конгломератов, созданных из аэрозольных частиц и газов - в основном CO₂ и N₂. Для определения флегматизирующей эффективности смеси газоаэрозоля с добавкой CO₂, нами было экспериментально определено флегматизирующую эффективность смеси аэрозоля, который образовался при сжигании АОС на основе лактозы с добавлением CO₂, в диапазоне концентраций от 2 до 9 %.

Результаты эксперимента показаны на рис. 2. При концентрации аэрозоля 15 г/м³ для достижения флегматизации достаточно CO₂ в концентрации 8 %. Причем, уже при низких концентрациях в газоаэрозоле от 4 г/м³ активно проявляется ингибирующее действие газоаэрозольной смеси. При этом концентрация аэрозоля в 15 г/м³ еще даже не является огнетушащей, а концентрация CO₂ лежит на грани предельно-допустимой опасной концентрации, при которой обеспечивается жизнедеятельность человека и также не является огнетушащей. Огнетушащая концентрация CO₂ для многих углеводородных горючих составляет около 26 %, а флегматизирующая – около 36%. Далее было определено флегматизирующее действие при концентрации аэрозоля в 30 г/м³. Как следствие, увеличение

концентрации аэрозоля до 30 г/м³ приводит к уменьшению флегматизирующей концентрации CO₂ в смеси до 3%. При этом меняется поведение распространения пламени по горючей системе. Пламя в виде сферы также медленно распространяется от источника зажигания. Из результатов эксперимента можно сделать выводы, что при увеличении концентрации аэрозоля происходит увеличение ингибирующей роли аэрозоля, что подтверждается полученными результатами опытов, изображенных на рис. 2.

Дальнейшее увеличение концентрации аэрозоля до 40 г/м³ привело к уменьшению концентрации CO₂, при которой происходит флегматизация до 3 %. Исходя из результатов экспериментов, флегматизационная эффективность газоаэрозольной смеси при различных концентрациях CO₂, будет иметь следующую зависимость (Рис 2).

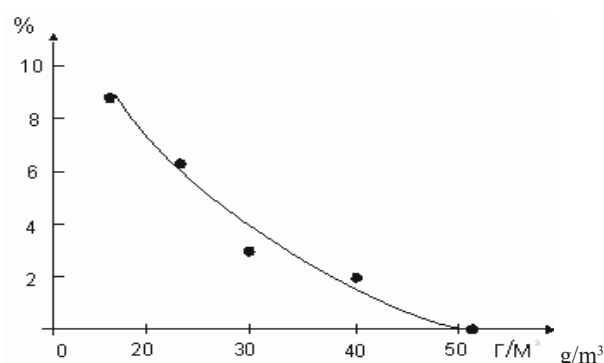


Рис.2. Флегматизационная эффективность газоаэрозольной смеси при концентрации аэрозоля г/м³ в зависимости от концентрации CO₂ %

Fig. 2. Phlegmatizing efficiency of gas-aerosol mixture at aerosol concentration g/m³ depending on CO₂ (in percentages)

Таким образом, мы получили значение концентрации аэрозоля и CO₂, которые в настоящее время значительно превышают характеристики всех известных флегматизаторов.

3. Выводы

Рассмотренные особенности взаимодействия и процесса тушения газоаэрозольными смесями свидетельствуют о том, что природа огнетушащей способности аэрозолей является комбинированной - аэрозоль действует одновременно как тепловой флегматизатор, и как химический ингибитор. При внесении CO₂ в аэрозоль наблюдалось повышение флегматизирующей эффективности аэрозоля до 3 раз. Эти результаты дают основание утверждать, что теплофизические свойства газовой фазы значительно больше влияют на огнетушащую эффективность аэрозолей, чем изменение концентрации O₂.

Литература

1. Korosteliyov V.G. Aerazolgeneriruiushchie pozharotushashchie sostavy. Osnovnye tipy sostavov i optimalnye usloviia ich primeneniia // Pozharovzryvobezopasnost, 2002, №1, – s.61-66.
2. Agafonov V.V., Kopylov N.P. Ustanovki aerazolnogo pozharotusheniia: Elementy i charakteristiki, proektirovanie, montazh i ekspluatatsiia – М.: VNIPO, 1999 – 233 s.

3. Baratov A.N., Kopylov N.P. Ob ingibirovanii plameni aerorozoliami poluchaemymykh i szhigaemykh propellantov. Problemy gorenii i tusheniia pozharov na rubezhe vekov // Materialy XV nauchno-prakticheskoi konferencii. – Moskva, 1999. – Chast 1. – S. 235-236.
4. Agafonov V.V. Ustanovki aerorozolnogo pozharotusheniia. Osnovnye kharakteristiki Tekst. / V.V. Agafonov, N.P. Kopylov // Uchebno-metodicheskoe posobie. Pod red. N.P. Kopylova. – M.: VNIPO, 2001. 91 s.
5. Korolchenko D.A. Tushenie pozharov aerorozolnymi sostavami: Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk: specialnost 05.26.03 Pozharnaia bezopasnost / Moskovskoi institut pozharnoi bezopasnosti MVD Rosii. – Moskva, 1998. – 24 s.
6. Azatian V.V., Baratov A.N., Vogman L.P. i dr. Issledovanie mekhanizma gasiashchego deistviia aerovzvesei solei// Khimicheskaiia fizyka processov gorenii i vzryva. Kinetika khimicheskikh reakcii. – Chernogolovka: OIKHF AN SSSR, 1977. – S. 110-113.
7. Perebig okremikh vnutrishnikh procesiv u vognegasnikh aerorozoliah pid chas gasinnia difuziinogo polumia Naukovyii visnyk. – UkrNDIPB, 2008. – №1 (17). – S. 155-159. Ju.O. Kopistinskii, O.I. Lavreniuk, D.A. Zhurbinskii
8. Balaniuk V.M., Grimaliuk B.T., Kit Ju.V., Levush S.S. Vpliv gazovoi fazi na efektyvnist vognegasnikh aerorozoliv // Visnik NU “Lvivska politekhnikha”. – 2004. – №497. – S 11-12.
9. Balaniuk V.M. Udoskonalennia aerorozolevoi vognegasnoi rechovini na osnovi solei kaliuu ta obruntuvannia umov ii zastosuvannia. Dis. k. t. n. :21.06.02 – pozhezhna bezpeka / Balaniuk V.M. // Lviv: Ukraini, 2007.– 187 s.
10. Balaniuk V.M., Shcherbina O.M., Grimaliuk B.T., Kit Ju.V. Doslidzhennia vognegasnoi dii aerorozoliv, oderzhanih spaliuvanniam tverdopalivnykh kompozicii riznogo skladu // Pozhezhna bezpeka. – 2004. – №4. – S. 56-58.
11. Balaniuk V.M., Grymaniuk G.T., Kyt J.V., Levus J.S., The influence of gas phases on the fire-extinguish aerosol effect // 5thInternational Conference “Fireco 2003”Fire Protection. – Trencin, 2003. – P.10-12

Баланиук Владимир Мирчевич – доцент кафедры процессов горения и общей химии Львовского государственного университета безопасности жизнедеятельности. Кандидат технических наук, доцент. Область научных интересов: теоретические и экспериментальные исследования процессов горения, аэрозольные, порошковые, акустические средства пожаротушения, огнезащитные покрытия для древесины и металлов.

Журбинский Дмитрий Анатольевич – доцент кафедры гражданской защиты и медицины катастроф Черкасской академии пожарной безопасности. Область научных интересов: аэрозольные и порошковые средства пожаротушения.