

ласть применения данной модели не ограничивается описанием зоны ЧС, а может быть использована в геодезии, картографии, при распознавании образов и т.д.

1. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 160 с.

2. Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А. Моделирование пространственной динамики природной чрезвычайной ситуации // Проблемы чрезвычайных ситуаций: Сб. науч. тр. УГЗ Украины. Вып. 5. – Харьков: УГЗУ, 2007. – С. 241-245.

3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

Получено 07.09.2007

УДК 614.842

В.М.ЖАРТОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, Ю.В.ЦАПКО, канд. техн. наук
Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України
Г.В.КИРИК, О.Д.СТАДНИК, кандидати фіз.-матем. наук
Міжнародний інститут компресорного і енергетичного машинобудування, м.Суми

ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОВИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ТА ФЛЕГМАТИЗУВАННЯ ГОРЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Аналізується сучасний стан і перспективи використання газових вогнегасних речовин у пожежогасінні та для флегматизування горючих середовищ з урахуванням сучасних екологічних вимог.

Хладони (інгібітори) відносяться до насичених фторвуглеводнів, молекули яких можуть містити інші атоми галогенів. Ці речовини та їх суміші набули широкого використання в галузі газового пожежогасіння завдяки їх виключній здатності до придушення вогню та запобігання вибуху. Вони не проводять електричний струм, хімічно малоактивні, не утворюють конденсованих залишків після використання. За температур зберігання від -50 до $+70$ $^{\circ}\text{C}$ не зазнають розкладу. Хладон 13В1 (галон 1301), газоподібний за кімнатної температури та хладон 114В2 (галон 2402), що являє собою легкокиплячу рідину, виявилися безпечними для людини у концентрації, достатній для пожежогасіння, тому знайшли широке використання в стаціонарних установках газового пожежогасіння на промислових та інформаційно-обчислювальних об'єктах, у комерційних структурах, в авіації та флоті, а також знайшли застосування деякі вогнегасні склади ("3,5", "7", "БФ-1", "БФ-2", "БМ", "СЖБ"), що містили дибромметан та (або) бромметан – речовини, подібні до хладонів [1].

При подальшому вивченні цих речовин було встановлено їх причетність до руйнування стратосферного озону. У вересні 1987 р. уря-

дами зацікавлених країн було підписано Монреальський протокол щодо обмеження використання озоноруйнівних речовин та поступового припинення їх виробництва. Україна також приєдналася до виконання вимог Монреальського протоколу. З огляду на це, озоноруйнівні хладони (галони) вже не можуть закладатись у проекти новостворюваних систем газового пожежогасіння, протоколом рекомендовано як найшвидше виводити з використання та утилізувати ці речовини, не допускаючи значної емісії хладонів в атмосферу.

У зв'язку з цим постала проблема розробки альтернативних газових вогнегасних речовин (ГВР), які б мали близький до нуля озоноруйнівний потенціал, не чинили шкідливого впливу на людину та навколишнє середовище, мали близькі до традиційних хладонів фізико-хімічні властивості, що забезпечило б мінімальні витрати на переобладнання існуючих систем пожежогасіння. Однак згодом виявилось, що таке рішення необґрунтоване і нереальне як у технічному, так і в економічному відношеннях. Дії щодо заміни озоноруйнівних хладонів в установках газового пожежогасіння і їх утилізація потребують значних витрат.

На сьогодні існує декілька нормативних документів щодо ГВР, які враховують вимоги Монреальського протоколу або висувають більш жорсткі екологічні та токсикологічні вимоги. Так, у Росії введено в дію норми пожежної безпеки [3], якими встановлено загальні технічні вимоги до ГВР. Згідно з цим документом значення ODP для ГВР не повинне перевищувати 0,01. Терміни та технічні вимоги до екологічно безпечних ГВР було регламентовано стандартом США NFPA 2001 [4], що став загальновизнаним у процесі розроблення нових ГВР.

Більш конкретні вимоги до ГВР та систем газового пожежогасіння наведено у міжнародному стандарті ISO 14520 [5]. У цьому стандарті викладено загальні норми щодо випробування ГВР та проектування систем газового пожежогасіння. Деякі важливі фізико-хімічні та вогнегасні характеристики хладонів наведено в табл.1. Видано Методичні рекомендації щодо заміни озоноруйнівних ГВР в установках пожежогасіння особливо важливих об'єктів [8], які встановлюють загальні вимоги та порядок проведення заміни озоноруйнівних хладонів.

ГВР, які пропонуються для використання замість озоноруйнівних хладонів, за механізмом дії умовно поділяють на дві класифікаційні групи: інертні розріджувачі та інгібітори горіння. Відомо, що інгібування горіння (хімічне гальмування) є більш ефективним способом гасіння пожежі, ніж просте розведення кисню, яке відбувається під час застосування інертних розріджувачів. У разі застосування інгібіторів гасіння настає за значно менших концентрацій ГВР у повітрі. Як інер-

тні розріджувачі використовують інертні гази, азот, діоксид вуглецю та їх суміші.

Таблиця 1 – Вогнегасні характеристики хладонів та деякі характеристики хладонових систем пожежогасіння [2, 5-7]

Назва ГВР	Торговельні назви та позначення ГВР	Хімічний склад, % об.	С _{мв} (н-гептан), % об.	С _{нв} , % об.	Нормативна тривалість подавання, с	С _{мф} (метан), % об.	Тиск у смкостях, МПа	Максимальна щільність заповнення смкості, кг/м ³
галон 1301	хладон 13В1	CF ₃ Br	3,2	3,8	10	4,5	від 24 до 42	1082
галон 1211	хладон 12В1	CF ₂ ClBr	4,3	5,2	10	н.д.	н.д.	н.д.
галон 2402	хладон 114В2	CF ₃ Br-CF ₂ Br	1,9	2,3	10	н.д.	н.д.	н.д.
HCFC-124	хладон 124; FE 24	CF ₃ -CHFCl	6,7	8,0	10	н.д.	13,4	1140
HFC-125	хладон 125; FE 25	CF ₃ -CHF ₂	8,1	9,7	10	н.д.	25	831
HFC-23	хладон 23; FE 13	CHF ₃	12,0	14,4	10	20,2	42	860
HFC-227ea	Хладон 227ea; FM-200	CF ₃ -CHF-CF ₃	6,6	7,9	10	8,0	25	1150
HCFC Blend A	NAF-S-III	CHClF ₂ CHClF ₂ CF ₃ CHCl ₂ CF C ₁₀ H ₁₆	9,9	11,9	10	18,3	25	900
HFC-236fa	хладон 236 fa; FE 36	CF ₃ CH ₂ CF ₃	5,3	6,4	10	н.д.	25	1200
FC-2-1-8	CEA 308	CF ₃ CF ₂ CF ₃	7,3	8,8	10	8,9	25	1680
FC-3-1-10	CEA 410	C ₄ F ₁₀	5,9	7,1	10	7,8	25	1280
FC-5-1-14	CEA 614	CF ₃ (CF ₂) ₄ CF ₃	4,0	4,8	10	н.д.	25	1520
FIC-131I	Triodide; CF ₃ I	CF ₃ I	3,0	4,3	10	6,5	25	900

Схильність хладонів до гальмування процесу горіння пов'язують з присутністю в їх молекулах атомів бром (Br) (у більшій мірі), атомів хлору (Cl) та фтору (F) (у меншій мірі). Тому екологічно безпечні хладони не повинні містити атомів Br чи Cl або мають руйнуватись, не досягаючи озонового шару атмосфери. Здатність до швидкого розкладу в атмосферних умовах притаманна неповністю заміщеним хлорфторвуглеводням та бромхлорфторвуглеводням. Ця властивість зумовлена наявністю в молекулах цих речовин атомів водню [9].

Серед хладонів знайдено альтернативні ГВР, що відносяться до таких груп фторвуглеводнів: HCFC (неповністю заміщені фторхлорвуглеводні), HFC (неповністю заміщені фторвуглеводні), PFC (перфторовані вуглеводні) та FIC (йодфторвуглеводні) [5]. Найбільш перспективними газовими вогнегасними речовинами серед хладонів є HFC-125, HFC-227ea, HFC-23, HFC-236fa, FC-2-1-8, FC-3-1-8 (хладон C318).

Окремо слід відзначити, що одним з важливих недоліків більшості ГВР на основі галогенвуглеводнів є здатність утворювати при взаємодії з полум'ям або при контакті з розжареною поверхнею надзвичайно шкідливі побічні продукти термічного розкладу (Br_2 , Cl_2 , COCl_2 , COF_2 , COBr_2 , CO), а за наявності вологи – HF, HCl та HBr.

Практично для всіх хладонів характерні такі властивості:

- вони не проводять електричний струм та швидко випаровуються за звичайних умов, не утворюючи нелетких залишків, легко зріджуються і можуть зберігатись під тиском у зрідженому стані (за винятком HFC-23), який застосовується з азотом, необхідний для випускання зрідженої речовини;

- всі альтернативні хладони (за винятком FIC-131I) мають меншу вогнегасну ефективність, ніж озоноруйнівні хладони, що призводить до збільшення запасу ГВР, необхідного для досягнення такого самого ефекту [10].

Головними факторами вибору альтернативного хладону з метою завдання найменшого екологічного впливу є потенціал озоноруйнівної дії ODP (Ozone Depletion Potential), потенціал глобального потепління GWP (Global Warming Potential) та тривалість існування в атмосфері ALT (Atmospheric LifeTime). В табл.2 наведено значення цих показників за даними UNEP Ozone Secretariat. Використання деяких фторвуглеводнів, зокрема групи PFC, завдяки їх великій тривалості існування в атмосфері та високому GWP, містить у собі потенціальний ризик порушення атмосферної рівноваги.

Також у табл.2 наведено дані щодо NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) та LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level). NOAEL – це концентрація, за якої в умовах спеціальних тестів не спостерігається шкідливого впливу на людину. LOAEL – найменша концентрація, за якої в умовах спеціальних тестів спостерігається шкідливий вплив на людину. Використання в приміщеннях з людьми альтернативних хладонів у концентраціях від рівня NOAEL до рівня LOAEL дозволяється лише за умов наявності відповідної сигналізації та можливості організації швидкої евакуації людей. Сучасні дослідження на основі моделі фізіологічної фармакокінетики (PB-ПК model) довели, що в таких випадках можливе також застосування хладонів у концент-

раціях, які перевищують рівень LOAEL.

Таблиця 2 – Екологічні та токсикологічні характеристики хладонів

Назва ГВР	ODP	GWP	ALT, роки	NOAEL, % об.	LOAEL, % об.
галон 1301	13,2	6900	65	5	7.5
галон 1211	3,0	немає даних	немає даних	немає даних	немає даних
галон 2402	6,0	немає даних	немає даних	немає даних	немає даних
HCFC-124	0,02	620	6.1	1	2.5
HFC-125	0	3800	32.6	7.5	10
HFC-23	0	14800	243	50	50
HFC-227ea	0	3800	36.5	9	10.5
HCFC Blend A				10	10
HCFC-22	0,05	1900	11.8		
HCFC-124	0,02	620	6.1		
HCFC-123	0,02	120	1.4		
HFC-236 fa	0	9400	226	10	15
FC-2-1-8	0	8600	2600	30	30
FC-3-1-10	0	8600	2600	40	40
FC-5-1-14	0	немає даних	немає даних	18	18
FIC-1311	10 ⁻⁵	<1	0.005	0.2	0.4

Багатьох вказаних вище недоліків позбавлена інша група ГВР – інертні розріджувачі [11]. Представниками цих ГВР є діоксид вуглецю, азот, аргон та їх суміші. Ці речовини нетоксичні, не утворюють токсичних продуктів термічного розкладу, не руйнують озоновий шар та є більш доступними і дешевими.

Одна з перших ГВР, яка була запропонована як альтернатива хладонам, це діоксид вуглецю (CO₂) [12, 13]. У рідкому стані при кімнатній температурі CO₂ може знаходитись під тиском 5860 кПа. CO₂ використовують як у звичайних установках з балонами високого тиску, так і в установках з контейнерами, де він зберігається у зрідженому стані під низьким тиском (1400-1900 кПа) і температурі близько мінус 21 °С. Установки з контейнерами під низьким тиском вигідно відрізняються більшою швидкістю перезарядки контейнера, меншими витратами на перезарядку та меншою масою установки (приблизно на 60%). Пожежогасіння досягається внаслідок охолодження під час випаровування конденсованої CO₂ та зменшення концентрації кисню у повітрі.

Фахівцями скандинавських країн для заміни хладонів було запропоновано речовину під назвою “Inergen”, яка містить 52% азоту, 40% аргону та 8% CO₂ і є екологічно безпечною. В разі спрацювання установок, заряджених цим газом або іншим інертним розріджувачем, вміст кисню в повітрі знижується з 21 до 13-12%, і тим самим ліквідується пожежа [14].

При використанні інертних розріджувачів у приміщеннях з людьми концентрація кисню повинна бути не менше 10-12%, а концентрація діоксиду вуглецю – не більше 5% об. Для ефективного гасіння тліючих матеріалів та речовин, що характеризуються широкими концентраційними межами поширення полум'я, концентрація кисню не повинна перевищувати 5%. Використання інертних розріджувачів у цих випадках неефективне.

Характеристики інертних розріджувачів, які запропоновано для застосування в системах пожежогасіння, а також самих цих систем зведено в табл.3.

Таблиця 3 – Деякі характеристики інертних розріджувачів та систем пожежогасіння, в яких вони використовуються [5]

Генетична назва ГВР	IG-541	IG-55	IG-01	IG-100	Діоксид вуглецю
Торговельна назва ГВР	Inergen	Argonite	Argotec	N ₂	CO ₂
Хімічний склад, % об.					
Азот (N ₂)	52	50	0	100	0
Аргон (Ar)	40	50	100	0	0
Діоксид вуглецю (CO ₂)	8	0	0	0	100
Молярна маса, г/моль	34,0	34,0	39,9	28,0	44,0
Температура кипіння, °С	-196,0	-196,0	-185,9	-195,8	-78,5
Питомий об'єм газу при 20° С і 101,3 кПа, м ³ /кг ²)	0,697	0,708	0,602	0,858	0,54
С _{МВ} (н-гептан), % об	29,1	32,2	37,5	33,6	21,0
С _{НВ} , % об.	34,9	36,8	45,0	40,3	35,7
С _{МФ} (метан), % об	43,0	н.д	55,8	37,9	н.д
Нормативна флегматизувальна концентрація, % об.	47,3	н.д	61,4	41,7	н.д
Концентрація ГВР, за якої досягається концентрація кисню 12% (NOAEL)	42,8 % об.				
Концентрація ГВР, за якої досягається концентрація кисню 10% (LOAEL)	52,3 % об.				

Узагальнюючи характеристики інертних розріджувачів і порівнюючи їх з хладонами, можна зробити такі висновки:

- інертні розріджувачі в переважній більшості є незрідженими газами, що зберігаються під високим тиском, тому запаси їх потребують більшого об'єму, а отже потрібно використовувати спеціальні ємкості, розраховані на відповідний тиск;

- у системах з інертними розріджувачами використовують пристрої для зниження тиску (редуктори), що розташовуються біля розподільчого трубопроводу, тому знижуються вимоги до товщини стінок

трубопроводу та розв'язуються проблеми, що пов'язані з високим тиском;

- тривалість подавання інертного розріджувача становить близько двох хвилин, що може викликати проблеми при застосуванні такої системи там, де можливий швидкий розвиток пожежі.

За вартістю 1 кг ГВП інертні розріджувачі вигідно відрізняються від хладонів навіть при умові, що для захисту 1 м³ перших витрачається дещо більша маса. Однак, ще необхідно враховувати вартість самої системи пожежогасіння. Так, системи з інертними розріджувачами потребують використання ємкостей високого тиску, що збільшує матеріаловитрати.

Останнім часом значна увага приділяється питанням створення на об'єктах автономних джерел азоту, який можна було б використовувати як вогнегасну речовину, зокрема для флегматизування горючих газів і пароповітряних сумішей (мембранного азоту).

Одним з найбільш вдалих застосувань мембранних азотних установок є їх використання в системах газового пожежогасіння для забезпечення пожежної безпеки промислових об'єктів і споруд. Системи газового пожежогасіння швидко ліквідують загорання шляхом подачі газоподібного азоту в приміщення, де відбулося займання або вибух. Перевагою використання азотних установок пожежогасіння є те, що у результаті гасіння не піддається небезпеці персонал, не виходять з ладу електронні системи керування технологічним устаткуванням і забезпечується повна схоронність матеріальних цінностей на відміну від пінних і водяних систем пожежогасіння. Вміст кисню в повітрі, при якому горіння речовин припиняється, наведено нижче в табл.4.

Таблиця 4 – Вміст кисню в повітрі, при якому горіння речовин припиняється

Речовина	O₂ %	Речовина	O₂ %
Ацетон	1	Метанол	10
Бензин	9	Метилацетат	8,0
Бензол	10	Пентан	9,0
Бутан	9,5	Пропан	9,0
Диметилбутан	9,5	Природний газ	9,5
Гас	9	Реактивне паливо	9,0
Метан	9,5	Етан	9,0

Деякі з відомостей про застосування рідкого й газоподібного азоту для гасіння пожеж у шахтах наведені в табл.5.

У порівнянні з іншими системами пожежогасіння азотні системи й установки мають ряд переваг:

- не завдають шкоди технологічному обладнанню й системам керування;

- прості в експлуатації;
- повністю автоматизовані;
- можуть підтримувати безпечний склад атмосфери;
- можуть застосовуватися для об'ємного пожежогасіння;
- екологічно чисті;
- мають низькі експлуатаційні витрати.

Таблиця 5 – Застосування азоту для гасіння пожеж у шахтах

Країна	Рік	Шахта, підприємство
Чеська республіка	1949	Doubrava
Великобританія	1953	Roslin Colliery
Росія	1968	«Воркутауголь»
Германія	1974	Osterfeld
Франція	1976	Rozelay
Польща	1976	Ziemowit
Румунія	1979	Petrosani
Словаччина	1980	Cigel
Китай	1983	Tianfu
Канада	1984	№. 26 Colliery, Glace Bay
Болгарія	1984	Babino
Індія	1985	Lodna
Австралія	1986	Moura n.4
Україна	2003	«Ровенькиантрацит»
Україна	2004	«Краснолиманська»

Пересувні азотні компресорні станції незамінні при буравленні, ремонті й експлуатації газових і нафтових свердловин, технологічних ремонтах трубопроводів і резервуарів. Закачуючи інертний газоподібний азот у продуктивні газові й нафтові шари, тим самим збільшують їхню продуктивність.

Газоподібний азот рекомендується застосовувати в наступних випадках:

- при ізоляції пожежних ділянок, а також при ізоляції в сполученні з різними способами прискорення процесу охолодження вогнища пожежі (рециркуляція, періодична зміна напрямку руху пожежних газів і т. д), для попередження вибухів і припинення горіння;
- при ліквідації пожеж у горизонтальних тупикових виробленнях будь-якої довжини, у випадку подачі азоту в тупикову частину по трубопроводу (можливий варіант подачі азоту через вентилятори місцевого провітрювання й вентиляційні трубопроводи);
- при веденні підривних робіт у гірських виробленнях для створення інертного середовища в місці виробництва вибуху;
- для попередження ендегенних пожеж у скупченнях вугілля, які утворилися в результаті раптових викидів або з інших причин.

Вивчивши світову практику одержання інертних газових середовищ, технічні рішення, які застосовуються провідними виробниками аналогічного обладнання, у ВАТ «НВАТ ВНДІкомпресормаш», яке входить до складу концерну «Укрросметал», у 2003 р. було розроблено проект, виготовлено й випробувано дослідний зразок азотної мембранної гвинтової пересувної станції АМВП - 15/0,7 С У1.

Мембранні газороздільні картриджі змонтовані в мембранному модулі, з'єднані між собою складною системою технологічного обладнання. Керування процесом розподілу стисненого повітря на азот і супутні компоненти здійснюється за допомогою мікропроцесорної системи керування, створеної на сучасній елементній базі.

Для забезпечення безвідмовної роботи газорозподільних мембран протягом усього терміну служби станцій і установок особлива увага звернена на якість повітря, що подається на розподіл у мембранний модуль. Робочі параметри повітря на вході в мембранний модуль повинні відповідати наступним вимогам:

- відсутність краплинної вологи;
- вміст масла – не більше 0,01мг/м³;
- вміст механічних домішок не більше 0,01мг/м³;
- температура не більше 50 °С.

Необхідність забезпечення цих вимог зумовила використання в складі станції гвинтового компресорного агрегату сухого стиску. Застосування таких компресорів дозволяє позбутися проблеми очищення стисненого повітря від масла, значно зменшує вартість додаткових систем осушки, витрати на обслуговування й експлуатацію у зв'язку з невеликим обсягом всіх видів технічного обслуговування й збільшених міжремонтних строків.

Конструктивно станція складається з модулів – компресорного агрегату, підготовки повітря й системи КВП і автоматики, мембранно-го. Деякі параметри станції наведені в табл.6.

Таблиця 6 – Параметри станції АМВП - 15/0,7 С У1

Об'ємна продуктивність по азоту	м ³ /хв	15
Кінцевий надлишковий тиск азоту	МПа	0,7
Концентрація азоту	%	90÷95
Потужність споживана станцією, не більше	кВт	350
Напруга живлення приводного електродвигуна	В	6000
Габаритні розміри, не більше:		
довжина	мм	13540
ширина	мм	2500
висота	мм	4000
Маса, не більше	кг	30000
Шасі		напівпричіп-контейнеровоз

Виготовлена фахівцями ВАТ «НВАТ ВВДКомпресормаш» станція АМВП-15/0,7 С У1 успішно пройшла заводські випробування на підприємстві – виробники й приймальні випробування у замовника (державне підприємство «Макєвуголь», Донецька обл., Україна).

Наприкінці 2003 р. станція АМВП-15/0,7 С В1 була використана при гасінні пожежі на одній із шахт ДП «Ровенькиантрацит». Оперативно доставлена на місце аварії, станція успішно зарекомендувала себе в реальних умовах пожежогасіння, подавши в гірське вироблення (зону горіння) 62000 м³ азоту, де пожежа була ліквідована протягом 72 год.

Сумарні витрати на одержання 1 нм³ азоту на мембранних газорозподільних установках значно нижче витрат на виробництво азоту з атмосферного повітря методом глибокого охолодження. Основні витрати на виробництво азоту – вартість електроенергії.

Переваги мембранного способу одержання азоту:

- низька собівартість;
- підвищений ресурс установки;
- низькі експлуатаційні витрати;
- швидка окупність;
- простота в обслуговуванні;
- економія енергії.

Зазначимо, що газорозподільні установки, які використовують мембранний метод розподілення повітря, дозволяють легко регулювати чистоту продукту. Зменшення витрат газу приводить до збільшення концентрації азоту в кінцевому продукті й навпаки. Мембранні азотні блоки мають значно менші габаритні розміри й масу порівняно з кріогенними й адсорбційними установками аналогічної продуктивності. Концерном «Укрросметал» накопичений багатий досвід у питаннях сучасної розробки, конструювання й використання мембран і мембранних технологій у промисловості.

Подальший розвиток мембранних технологій має ґрунтуватися на інформаційній базі, що враховує тенденції розвитку світового ринку мембранних технологій.

1.Руководство по международным договорам в области охраны озонового слоя. Венская конвенция (1985 г.). Монреальский протокол (1987 г.). – 5-е изд. (2000 г.). – 439 с.

2.Промышленные фторорганические продукты: Справ. изд. / Б.Н.Максимов, В.Г.Барабанов, И.Л.Серушкин и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: Химия, 1996. – 544 с.

3.НПБ 51-96. Составы газовые огнетушащие. Общие технические требования пожарной безопасности и методы испытаний. – М.: ГУГПС МВД России, 1996.

- 4.NFPA 2001-92. Standard on clean agent fire extinguishing systems.
- 5.ISO 14520-2000. Gaseous fire extinguishing systems. Physical properties and system design.
- 6.Юдин В., Шуринов А. К вопросу о замене озоноразрушающих хладонов в смонтированных установках пожаротушения // Пожарное дело. – 1997. – №8. – С.60-61.
- 7.Галогенсодержащие пожаротушащие агенты. Свойства и применение: Справ. изд. / В.Г.Барабанов, Е.Г.Белевцев, В.С.Зотиков и др.; Под ред. д-ра техн. наук Н.П.Копылова. – СПб: ТЕЗА, 1999. – 132 с.
- 8.Методические рекомендации по порядку осуществления замены озоноразрушающих огнетушащих веществ в установках пожаротушения особо важных объектов. – М.: ВНИИПО МВД России, 1998. – 35 с.
- 9.Копылов Н.П. Проблемы газового пожаротушения в свете требований Монреальского протокола по хлорфторуглеродам // Материалы 11-й науч. конф. «Проблемы предотвращения и тушения пожаров на объектах народного хозяйства». – М., 1992. – С.16-24.
- 10.Антонов А.В., Цапко Ю.В., Кот А.П. Використання газових вогнегасних речовин для пожежогасіння та флегматизування горючих середовищ // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів: Сполом, 2001. – С.242-244.
- 11.Антонов А.В., Орел В.П., Цапко Ю.В. Флегматизування горючих середовищ інертними розріджувачами, інгібіторами та їх сумішами // Збірник наукових праць. Вип.1. – Севастополь: Севастопольський ВМІ ім. П.С.Нахімова, 2002. – С.148-149.
- 12.Гамильтон Д. CO₂ – заменитель хладона // Пожарная охрана: РЖ. – 1992. – №3. – Ref.op.: CO₂ – the «real» alternative to Halon // МЕ: Mar Eng Rew. – 1991. – P.18-19.
- 13.Сиамра К. Установки тушения углекислым газом под низким давлением // Пожарная охрана: РЖ. – 1991. – №2. – Ref.op.: L'impianto di spegnimento incendi a CO₂ a bassa pressione con serbatoio di stoccaggio // Autom nav. – 1990. – №6. – P. 99-101.
- 14.Пожаротушение без фреона // Пожарная охрана: РЖ. – 1993. – №6. – Ref.op.: Schweiz Feuerwehr-Ztg. – 1992. – № 9. – P. 548-550.

Отримано 30.08.2007

УДК 621.3

А.Е.БАСМАНОВ, д-р техн. наук

Університет громадянської захисти України, г.Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАМЕНИ НАД РАЗЛИВОМ НЕФТЕПРОДУКТА

Предлагается математическая модель, описывающая поверхность пламени над разливом нефтепродукта произвольной формы. Модель предназначена для расчета теплового потока от пожара и оценки его воздействия на соседние объекты.

Одним из опасных последствий аварий, возникающих при хранении и транспортировке нефтепродуктов, является их разлив. Возгорание разлитого нефтепродукта создает опасность распространения пламени на соседние здания и сооружения, а также представляет серьезную угрозу для жизни и здоровья людей.

Несмотря на детально разработанные модели теплового излучения от горящих цилиндрических резервуаров (РВС) [1, 3], для разли-