

УДК 614.841.332: 613.692:656.21

АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНИХ НАСТАНОВ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ТОКСИЧНОСТІ ЛЕТКИХ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ ПОЛІМЕРНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Шафран Л.М.¹, Новак С.В.², Кравченко Р.І.², Леонова Д.І.¹

¹Український НДІ медицини транспорту МОЗ України, Одеса,

²Український НДІ пожежної безпеки МНС України, Київ

Ключові слова: пожежа, полімерні матеріали, токсичні продукти горіння

Вступ

Під час пожежі утворюються токсичні леткі продукти горіння (ЛПГ) продукції, вплив яких на людей, присутніх у будівлях, на транспорті або інших об'єктах, та на персонал, що виконує пожежно-рятувальні роботи, призводить до трагічних наслідків чи втрати здоров'я [1]. На об'єктах, насичених електротехнічним устаткуванням, таких як електростанції, транспортні тунелі, офіси, це устаткування під час пожежі може бути основним джерелом утворення токсичних ЛПГ [2, 3].

За статистичними даними [4] в Україні протягом 2004-2008 рр. трапилось 242785 пожеж, на яких загинуло 19879 осіб, було травмовано 9265 людей і від яких прямі матеріальні збитки склали 1,346 млрд грн. Протягом цього періоду для електротехнічних виробів зазначені показники становили відповідно 53783 пожеж (22 %), 2627 осіб (13 %), 1571 постраждалий (17 %) і 402 млн грн. (30 %). Серед електротехнічних виробів за кількістю пожеж та їхніми наслідками перше місце посідає кабельна продукція. В складі електротехнічних виробів від кабельної продукції щороку виникає 64 % пожеж, на яких гине та травмується відповідно 25 % і 55 % осіб і прямі збитки від яких складають 71 %. Протягом 2008 року від кабельної продукції виникло 7101 пожеж (68,2 % від загальної кількості пожеж від електротехнічних ви-

робів), на яких загинуло 137 осіб (30,1 %) і травмовано 187 осіб (54,1 %). Прямі збитки від цих пожеж склали 104,2 млн. грн. (70,7 %), а побічні - 167,2 млн. грн. (68,4 %). Порівняно з 2007 роком зросла кількість загиблих і травмованих та прямих і побічних збитків на 17, 15, 23 та 22 %, відповідно.

Актуальність теми

За показниками стану з пожежами в 33 країнах-членах КТІФ у 2004 році Україна посідала восьме місце після таких провідних країн як США, Росія, Німеччина, Франція і Великобританія, а за ризиком загибелі людей на пожежах — друге після Росії.

Незадовільний стан з пожежами в нашій та інших країнах пов'язаний з використанням на об'єктах будівельної, електротехнічної, зокрема кабельної, та іншої продукції, під час горіння якої виділяються токсичні леткі продукти горіння в небезпечній кількості для здоров'я і життя людей. Важливими причинами цього можуть бути недосконалість законодавчо-нормативних актів, а також користування недосконалими методами, за якими оцінюють токсичність цих продуктів.

Аналіз нормативно-методичної документації

За даними Міжнародної електротехнічної комісії (IEC) лише в провідних країнах у різних сферах промисловості на

національному і регіональному рівнях для оцінки токсичності летких продуктів горіння електротехнічної продукції застосовують 11 методів, які відрізняються за умовами випробувань, критеріями оцінки і допустимими рівнями показників токсичності ЛПГ [5]. Реагуючи на даний факт, ІЕС спільно з Міжнародною організацією стандартизації (ISO) проводиться робота щодо удосконалення методів випробувань та їх уніфікації. Основою для цього є загальні настанови щодо оцінювання токсичності летких продуктів горіння продукції, в яких узагальнено наукові досягнення в методології оцінки токсичності ЛПГ, дотримання яких рекомендовано під час проведення досліджень пожежної небезпеки продукції і розроблення відповідних методів оцінки.

Міжнародними організаціями в сфері стандартизації звертається увага на те, що вплив на людей токсичних ЛПГ може призводити до летальних (загибелі) та інших небезпечних ефектів: патології хімічної етіології, психоемоційного стресу, недієздатності, уповільнення швидкості руху та прийняття неадекватного рішення щодо обрання оптимального маршруту евакуювання [1]. Прояв тих чи інших токсичних ефектів залежить від концентрації кожного токсичного компонента в летких продуктах горіння та часу експозиції (тривалості впливу їх на людей) або від їх дози та фізичного і психофізіологічного стану людей [1, 6]. Причому, ці ефекти можуть проявлятися під час і після пожежі.

Прояв токсичних ефектів може бути мінімізований шляхом своєчасного надання медичної допомоги. Проте, з тих чи інших причин така допомога постраждалим не завжди може надаватися терміново, навіть у великих містах. Для урахування цього під час оцінювання токсичності ЛПГ продукції прояв токсичних ефектів контролюють протягом постекспозиційного періоду, а можливість надання чи ненадання медичної допомоги протягом цього періоду не беруть до уваги [6]. З практичного досвіду та за резуль-

татами токсикологічних експериментальних досліджень тривалість постекспозиційного періоду складає 14 діб [6-9].

В умовах пожежі прояв токсичних ефектів мінімізується шляхом своєчасного евакуювання людей до безпечних зон. Це забезпечується за умови проведення даної операції до моменту досягнення експозиції ефективного значення. Ефективний час експозиції визначає час, доступний для евакуювання [2, 3, 6]. У зв'язку з цим під час проектування і зведення об'єктів вживають заходів, які спрямовані на те, щоб час, доступний для евакуювання, був не меншим за такий, що є необхідним для безпечного евакуювання людей із зони пожежі [1, 6]. Недооцінка цього показника може призвести до підвищення рівня ризику для людей, а переоцінка-до необґрунтованого обмеження використання продукції і зростання матеріальних витрат на зведення об'єктів [1].

На підставі зазначеного, допустимий рівень ефективного часу експозиції має бути узгоджений з часом, необхідним для евакуювання, і врахування цього показника під час проведення випробування продукції. Проте, одна й та сама продукція може застосовуватися на різних об'єктах, для яких час, необхідний для евакуації, може суттєво відрізнятися. Тому в умовах невизначеності токсичність ЛПГ продукції прийнято оцінювати за фіксованим часом експозиції — 30 хв [3, 6-10]. Цей час для багатьох спроектованих об'єктів є характерним часом, необхідним для евакуації. Вказане значення часу експозиції обирають при визначенні прямолінійної залежності між ефективною дозою і концентрацією [6-10]. Ця залежність є прийнятною для діапазону часу експозиції від 0 до 60 хв. У зв'язку з цим звертається увага на те, що ця прямолінійна залежність може не виконуватися за час експозиції понад 60 хв [6].

На момент виникнення пожежі люди знаходяться на певній відстані від осередку утворення токсичних ЛПГ, а під час її протікання змінюється їх взаємне положення [1]. У зв'язку з цим вплив токсич-

них ЛПГ на людей відбувається через певний проміжок часу. На стадіях проектування і виготовлення продукції не представляється можливим конкретизувати цей час. Тому в умовах невизначеності з міркувань безпеки під час оцінювання токсичності ЛПГ продукції приймають миттєвий їх вплив на людей, що враховано в моделях токсичних газів і втрати маси [2, 3, 6, 8, 10].

Токсичні ефекти досягаються, якщо доза (концентрація) токсичних ЛПГ не менша за ефективну, тобто якщо відносна ефективна доза (концентрація) не менше одиниці [2, 6-10]. Для різних груп осіб, залежно від їх фізичного стану і дієздатності, токсичні ефекти можуть проявлятися за різних значень дози (концентрації) ЛПГ [1, 6]. У зв'язку з цим за ефективну дозу (концентрацію) ЛПГ приймають середнє значення, за яким передбачається реагування та токсичні ефекти 50 % популяції [2, 3, 6-11]. Для визначення ефективної дози (концентрації) ЛПГ використовують біологічні (прямі) методи випробування, під час яких експозиції піддаються тварини (примати, шури, миші), поведінкові реакції яких, психофізіологічні та біохімічні зрушення в організмі подібні до аналогічних у людей [1, 2, 5-9, 11, 12]. Найбільш часто такі досліді проводяться на білих мишах. Можливі гендерні розбіжності в реакціях на експозицію ЛПГ враховуються шляхом постановки дослідів на тваринах різної статі загальною кількістю не менше ніж шість в кожній групі [8].

В умовах пожежі в об'ємі приміщень токсичні компоненти можуть розподілятися нерівномірно [1]. Але на стадіях проектування і виготовлення продукції не представляється можливим конкретизувати показник тому в умовах невизначеності цей чинник невілюють шляхом штучного забезпечення рівномірного їх розподілення в об'ємі за рахунок вентиляції [2, 9, 11].

Серед груп осіб найбільш вразливі до впливу токсичних ЛПГ є діти, особи похилого віку, вагітні та особи з зах-

воруваннями серцево-судинної і дихальної систем. Ця група осіб складає біля 15 % популяції. Для неї у розрахунках вводять коефіцієнт до відносної ефективної дози (концентрації), що дорівнює 0,3 [6].

В склад ЛПГ входять компоненти у газо-паровій та аерозольній фазах. Останні розглядаються, як правило, в плані пожежної безпеки як самостійний чинник (димоутворення) відокремлено від ЛПГ [1, 2, 6, 9]. Для виявлення внеску кожного компонента в токсичні ефекти застосовують фізико-хімічні аналітичні методи, що дозволяють окремо визначати основні токсичні пари, гази і аерозолі [1, 2, 5, 6, 9, 11, 13, 14]. Елементний аналіз свідчить, що в складі ЛПГ містяться такі хімічні елементи, як водень, кисень, вуглець, азот, хлор, бром, фтор, сірка, фосфор, важкі метали та численні неорганічні і органічні сполуки на їх основі [15]. Вони поступають в організм переважно інгаляційним шляхом, але не виключається також пероральна та трансдермальна експозиція. І хоча деякі ефекти ЛПГ можуть бути пов'язані з надходженням поліароматичних вуглеводнів, полігалогенізованих біфенілів, галогенізованого дібензодіоксину і дібензофурану та інших компонентів ЛПГ в ротову порожнину, кількісні показники внеску двох останніх шляхів надходження в організм залишаються невизначеними [9].

Найбільш вивчено ефекти, що пов'язані з впливом токсичних газів на органи дихання і зору. Так, потрапляння токсичних газів у органи дихання може призводити до різкого зниження надходження кисню, гіпоксії і летального ефекту та/або до подразнення слизової оболонки і зниження дієздатності постраждалих, а на очі — до двох останніх ефектів. У зв'язку з цим розрізняють задушливі та подразнювальні гази [1, 2, 3, 6].

Вплив на людей подразнювальних газів викликає в основному подразнення слизової оболонки зорового аналізатору і верхніх дихальних шляхів, внаслідок

чого порушуються зір і дихання. Зниження дієздатності призводить до неможливості виконувати свої професійні обов'язки, протидіяти вогню, своєчасно евакуюватися і, як наслідок, до загибелі під час пожежі. Ефекти від впливу подразнювальних газів залежать від їх концентрації в зоні дихання [2, 3, 6]. Перелік подразнювальних газів та критичні концентрації наведено в табл. 1. Звертається увага на те, що до подразнення може призводити вплив аміаку, ізоціанатів, стиролу, сірчастого водню, альдегідів, кетонів, спиртів, нітрилів, сполук фосфору, сурми і миш'яку [6, 9, 11].

Дія подразнювальних газів починається зразу або через певний проміжок часу після взаємодії з рідинами слизової оболонки [6]. Однак, цей проміжок часу не встановлений. У зв'язку з цим, з міркувань безпеки, прийнято дію подразнювальних газів на чутливі органи вважати миттєвою.

Вплив на людей задушливих газів викликає нестачу кисню в організмі - гіпоксію, внаслідок чого перш за все по-

рушуються функції центральної нервової системи з втратою свідомості, що в результаті призводить до недієздатності та загибелі безпосередньо під час пожежі або (рідше, головним чином від ускладнень) у постекспозиційному періоді. Ефекти від впливу задушливих газів залежать від їх концентрації в повітрі і отриманої постраждалим ефективної дози [2, 3, 6]. Перелік основних задушливих газів у складі ЛПГ та їхні летальні концентрації наведено в табл. 2. Ефективну дозу розраховують шляхом множення летальної концентрації на 30 хвилин експозиції [8-10]. Дозу ЛПГ, яка призводить до недієздатності, експертами ISO прийнято такою, що приблизно дорівнює половині летальної дози [3, 6].

Окрім зазначеного, до гіпоксії призводить недостатній вміст кисню в атмосфері летких продуктів горіння, критичну концентрацію якого наведено в таблиці 2. Ефекти від впливу цього газу залежать від його концентрації [2, 3, 6]. Для запобігання впливу на летальні ефекти недостатності кисню, під час біологічних досліджень концентрація цього газу має підтримуватися на рівні не менше, ніж 16 % об. [8].

Для досягнення токсичних ефектів мінімальними при експозиції 30 хвилин можуть вважатися рівні концентрацій токсичних газів, які наведено в табл. 3. За вказаних у цій таблиці рівнів концентрацій токсичних газів їхній вплив можна не враховувати [13].

Ефекти від подразнення нижніх дихальних шляхів фізіологічно не пов'язані з ефектами від подразнення

Критичні концентрації подразнювальних газів [2, 3, 6]

Подразнювальний газ	Критична концентрація подразнювального газу, мкл·л ⁻¹
Хлорид водню (HCl)	1000
Бромід водню (HBr)	1000
Фтороводень (HF)	500
Формальдегід (CH ₂ O)	250
Діоксид азоту (NO ₂)	250
Оксид сірки (SO ₂)	150
Акролеїн (C ₃ H ₄ O)	30

Таблиця 1

Летальні концентрації токсичних газів [8, 10]

Токсичний газ	Летальна концентрація токсичного газу, мг·(м ³) ⁻¹	Токсичний газ	Летальна концентрація токсичного газу, мкл·л ⁻¹
Хлорид водню (HCl)	3800	Діоксид азоту (NO ₂)	170
Бромід водню (HBr)	3800	Оксид сірки (SO ₂)	1400
Фтороводень (HF)	2900	Акролеїн (C ₃ H ₄ O)	150
Формальдегід (CH ₂ O)	750	Ціанід водню (HCN)	165
Оксид вуглецю (IV) (CO ₂)	100000	Оксид вуглецю (II) (CO)	5700
		Кисень (O ₂)	5,4 % об.

Таблиця 2

Таблиця 3

Мінімальні концентрації газів, необхідні для досягнення токсичних ефектів [13]

Токсичний газ	Мінімально необхідна концентрація токсичного газу, мкл·л ⁻¹	Токсичний газ	Мінімально необхідна концентрація токсичного газу, мкл·л ⁻¹
Хлорид водню (HCl)	10	Оксиди азоту (NO _x)	10
Бромід водню (HBr)	10	Оксид сірки (SO ₂)	1
Фтороводень (HF)	10	Акролеїн (C ₃ H ₄ O)	0,5
Формальдегід (CH ₂ O)	0,5	Ціанід водню (HCN)	10
Вуглекислий газ (CO ₂)	500	Чадний газ (CO)	100
		Повні альдегіди	5

верхніх дихальних шляхів і чутливих органів. У зв'язку з цим оцінку токсичності задушливих і подразнювальних газів прийнято здійснювати окремо [2, 3, 6].

Відносно того, які токсичні гази є задушливими, існує дві точки зору. Перша побудована на гіпотезі, що окрім кисню, задушливими є лише чадний газ і ціанід водню, а друга — на тому, що задушливими є ці та подразнювальні гази з рівнем концентрації більшим, ніж той, що викликає подразнення. У зв'язку з цим прийнято токсичність задушливих і подразнювальних газів здійснювати шляхом оцінювання токсичних ефектів від чадного газу і ціаніду та від токсичних компонентів в цілому [2, 3, 6].

Ефекти від комбінованого впливу задушливих чи подразнювальних газів прийнято адитивними [2, 3, 6]. З урахуванням цієї властивості побудовано існуючі моделі токсичних газів і втрати маси. Разом з тим, не виключається можливість посилювання токсичних ефектів через ефекти синергізму, гіпервентилювання (збільшення частоти вдихання), ацидозу (недостатнього виведення і окислення органічних кислот з організму) тощо. До цих ефектів, зокрема, може призводити вплив оксиду вуглецю (IV), тому це також враховано в деяких моделях токсичних газів [1, 2, 3, 6]. Однак, у разі виявлення будь-яких суттєвих відхилень між результатами аналітичних і біологічних досліджень мають застосуватися моделі втрати маси [2, 3, 6].

Посилення токсичних ефектів також можливо внаслідок впливу надмірного тепла, але залежність щодо цього біологічними дослідженнями потребує подальшого експериментального вивчення стосовно ЛПГ [1, 6]. Тому в умовах невизначеності під час оцінювання токсичності ЛПГ цей ефект поки ще не враховують, але відмічається можливість застосування даних щодо токсичності ЛПГ, отриманих з урахуванням цього ефекту. Для запобігання впливу теплових ефектів на токсичність ЛПГ під час випробувань обмежують температуру навколишнього середовища в контрольованій зоні до 40 °C і нижче [8].

Рівень концентрацій токсичних летких продуктів горіння виробів (продукції) визначається за втратою маси її матеріалів, виходом токсичних компонентів і розмірами об'ємів, в яких розподілюються ЛПГ. У зв'язку з цим під час оцінювання токсичної небезпеки ЛПГ випробування продукції бажано проводити в умовах реального масштабу чи наближених до них [2, 6].

Під час пожежі вихід кожної токсичної компоненти залежить від природи використаних у продукції матеріалів та умов їх термічного розкладу [1, 2, 6, 9]. Залежно від природи джерел запалювання, які можуть бути внутрішніми і зовнішніми, теплового потоку, температури і концентрації кисню та його доступності до зони горіння може відбуватися безпосереднє (піроліз та термоокислювальна деструкція) або полуменеве горіння ма-

Таблица 4

Характеристика стадий пожара [1]

Стадія пожежі	Тепловий потік на поверхні матеріалу, кВт/м ²	Максимальна температура, °С		Об'єм кисню, %		Коефіцієнт еквівалентності	$\frac{C_{CO}}{C_{CO_2}}$	$\frac{100C_{CO_2}}{C_{CO_2} + C_{CO}}$ (продуктивність), %
		поверхня матеріалу, що горить	верхній шар	у повітрі, що поступає	у вихідних легких продуктах горіння			
1. Безполуменеве горіння								
а) самопідтримуюче (тління)	Не застосовують	450-800	25-85 ^{d)}	20	0,20	-	0,1-1,0	50-90
б) окислювальний піроліз під впливом зовнішнього випромінювання	-	300-600	a)	20	20	< 1	b)	b)
с) анаеробний піроліз під впливом зовнішнього випромінювання	-	100-500	a)	0	0	>> 1	b)	b)
2. Добре вентильоване полуменеве горіння ^{c)}								
	0-60	350-650	50-500	≈ 20	0,20	< 1	< 0,05 ^{d)}	> 95
3. Слабо вентильоване полуменеве горіння ^{e)}								
а) невелика, локальна пожежа, загалом в слабо вентильованому відсіку	0-30	300-600	50-500	15-20	5-10	> 1	0,2-0,4	70-80
б) пожежа після загального спалаху	50-150	350-650	> 600	< 15	< 5	> 1 ^{f)}	0,1-0,4 ^{g)}	70-90

a) Температура у верхньому шарі вогневої камери переважно визначається джерелом випромінювання, що впливає ззовні, та геометричними розмірами камери.
 б) Не достатньо даних; але для піролізу, очікується, що це співвідношення змінюється в широких межах залежно від хімічного складу матеріалу, локального вентильовання і термічних умов.
 в) Споживання кисню вогнем мало зіставляється з тим, що має місце в приміщенні і на вході до нього, кінець полум'я знаходиться нижче верхнього шару нагрітих газів або верхній шар ще не такий збіднений, щоб значно збільшувався вихід CO, полум'я не усикається під час контакту з ще одним об'єктом, а інтенсивність горіння залежить від природи горючого матеріалу.
 г) Співвідношення може мати значення на порядок більше для матеріалів, які є вогнестійкими. Це співвідношення істотно не змінюється за коефіцієнту еквівалентності, що приблизно дорівнює 0,75 і менше. У діапазоні коефіцієнту еквівалентності, що змінюється приблизно від 0,75 до 1, має місце деяке збільшення співвідношення між CO і CO₂.
 e) Доступ кисню до вогню обмежений вентиляційними прорізами; полум'я досягає верхнього шару.
 f) Коефіцієнт еквівалентності для факелу не визначений; використання загального коефіцієнту еквівалентності є не прийнятним.
 g) В окремих випадках були визначені менші значення. Загалом, вони походять із вторинного горіння за межами виходу з приміщення.

теріалів та виробів [1, 2]. За мірою вигорання матеріалів зменшується їх маса та концентрація кисню, зростає температура навколишнього середовища і збільшується концентрація ЛПГ. Від співвідношення залишкової маси і концентрації кисню та його доступності до зони горіння залежить повнота згорання матеріалів. Практично повне згорання матеріалів відбувається, якщо співвідношення між горючою масою і масою кисню (коефіцієнт еквівалентності) менше одиниці, а неповне, якщо це співвідношення не виконується. Більш різноманітний склад токсичних компонентів виробляється при неповному згоранні [3].

Залежно від можливості займання матеріалів від внутрішніх і зовнішніх джерел запалювання, горіння їх в режимах полуменевого і безполуменевого горіння

(піролізу), співвідношення між горючою масою матеріалів і масою кисню та його споживання розвиток пожежі умовно поділено на стадії, які надано в таблиці 4. Кожну з цих стадій рекомендовано імітувати під час оцінювання токсичності ЛПГ продукції [1-3, 6-11]. Для цього потрібно мати інформацію щодо займистості матеріалів [9].

На розвиток пожежі і, отже, на склад, вихід та концентрацію легких продуктів горіння може вплинути людське і механічне втручання шляхом застосування первинних і автоматичних засобів пожегасіння, систем димовидалення, відкривання вікон і дверей, під час якого можливе розбавлення ЛПГ свіжим повітрям [1, 15]. На стадіях проектування і виготовлення продукції не представляється можливим оцінити вплив зазна-

чених чинників, тому в умовах невизначеності під час оцінювання токсичності ЛПГ продукції ці чинники не беруть до уваги [1]. Стосовно розбавлення летких продуктів горіння свіжим повітрям, то це здійснюють для забезпечення прояву токсичних ефектів або виконання більшої кількості процедур відбору токсичних газів [9].

Під час пожежі склад і кількість токсичних компонентів може змінюватися з часом і в просторі [1]. За мірою віддалення їх від осередку пожежі і охолодження може відбуватися абсорбція токсичних компонентів на поверхнях конструкцій і виробів (особливо кислих газів і аерозолів) та на частинках сажі і поглинання їх краплинками аерозолів (особливо кислих газів) [1]. Тому для запобігання прояву цих чинників елементи випробувального устаткування, через які проходять ЛПГ, рекомендовано виконувати з мінімально можливою довжиною та з матеріалів, які знижують ефект абсорбції ЛПГ на їх поверхнях, а також, за необхідності, підігрівати [9, 11, 14].

Оцінку токсичної небезпеки ЛПГ продукції рекомендовано проводити із застосуванням даних, отриманих під час натурних чи великомасштабних випробувань [1-3, 6]. Проте, реалізація цих випробувань потребує значних матеріальних і часових витрат. Разом з тим, враховуючи те, що кількість утворених летких продуктів горіння залежить від втрати маси продукції, таку оцінку допускається здійснювати за даними дрібномасштабних випробувань, під час яких оцінюють токсичний потенціал продукції, якщо залежність втрати її маси отримано в умовах випробування, які дають прийнятну збіжність з результатами великомасштабних випробувань [1-3, 6]. У вітчизняній та міжнародній токсикологічній практиці поняття «потенціал токсичності» не використовується і експериментально не визначене. Продукція з високим потенціалом токсичності може мати малу втрату маси і навпаки, продукція з малим потенціалом токсичності може мати велику втрату

маси. У зв'язку з цим оцінювання токсичної небезпеки ЛПГ лише за токсичним потенціалом є не прийнятним [1-3, 8-11].

Для визначення токсичності летких продуктів горіння продукції можуть застосовуватися статичні і динамічні методи [2]. Статичні методи реалізують із застосуванням замкнутих систем (камер), в яких вироблені леткі продукти згорання накопичуються з часом, а динамічні — із застосуванням проточних стаціонарних і нестаціонарних систем (камер) [2, 9, 11]. У стаціонарних системах горючу масу і повітря в зону термічної дії подають з постійною швидкістю, чим забезпечують стабільний вихід і концентрацію ЛПГ, а в нестаціонарних системах постійною є лише швидкість повітря. Під час цих випробувань вимірюють концентрації токсичних компонентів та можливе експонування піддослідних тварин. З міркувань гуманності та зменшення матеріальних витрат в останні роки перевагу в застосуванні надають аналітичним методам [2, 6, 8]. Біологічні методи рекомендовано застосовувати разом з аналітичними у випадках випробування нових чи невідомих матеріалів, а також у разі застосування в матеріалах нових домішок [2, 6, 9]. Ця позиція може коментуватись неоднозначно, оскільки токсичні продукти горіння — це завжди комбінована дія численних хімічних речовин з різними механізмами дії. Оцінка виду комбінованої дії більш ніж двох речовин навіть теоретично не обґрунтована і потребує подальших ґрунтовних досліджень. Слід погодитися з позицією Ю.С. Кагана та Б.М. Штабського [16] і Б.А. Кацнельсона [17] щодо необхідності удосконалення і подальшої розробки саме теоретичних аспектів проблеми комбінованої дії складних комплексів хімічних речовин як необхідної умови суттєвого зниження ступеню невизначеності при використанні таких даних для цілей гігієнічної регламентації полімерних матеріалів та виробів з них.

Умовний вихід кожної токсичної компоненти у летких продуктах горіння може бути визначений теоретично, якщо

відомий склад або емпірична формула матеріалів [15]. Виходи токсичних компонентів, отримані теоретично, є максимально можливими і їх застосовують для оцінки складу залишків згорівших матеріалів [2, 9].

За даними, отриманими із застосуванням зазначених вище методів, та моделей токсичних газів, оцінюють токсичну небезпеку чи токсичний потенціал летких продуктів горіння продукції. Моделі токсичних газів використовують у випадку застосування аналітичних методів, а моделі втрати маси-у випадках застосування біологічних методів та оцінки токсичності ЛПГ виробів чи комбінації матеріалів за даними окремих випробувань матеріалів [2, 6].

До розглянутих вище настанов щодо оцінювання токсичності ЛПГ продукції є такі зауваження.

Міжнародними організаціями у сфері стандартизації не визначено, як мають встановлюватися допустимими рівні показників токсичності ЛПГ для підтвердження відповідності продукції вимогам пожежної безпеки на стадії її проектування і виготовлення, і які рішення мають прийматися за результатами оцінки ЛПГ. Особливо це стосується матеріалів, що є складовими виробів, для яких на вказаних стадіях проблематично конкретизувати втрату маси за умови їх використання у готових виробках.

Позиція простої сумації ефектів по відношенню до провідних компонентів ЛПГ, яка відстоюється експертами міжнародних організацій у сфері стандартизації (п. 11.2 Стандарту ISO 13344 [8], а також [18]), дискусійна [19], оскільки вона протиречить численним експериментальним даним щодо синергічного характеру комбінованої дії оксиду вуглецю (II) і ціаністого водню, фенолу, метгемоглобіноутворювачів, а також складних газо-паро-аерозольних сумішей, які вміщують подразнюючі речовини [20].

Розгляд ефективних концентрацій задушливих і подразнювальних газів, наданих в таблицях 1 і 2, виявив, що для

діоксиду азоту летальна концентрація менша за подразнювальну, чого не може бути за визначенням. Причому летальна концентрація цього газу приблизно дорівнює летальній концентрації ціаніду водню, який вважається основним задушливим газом. З приводу останнього є певні сумніви стосовно летального значення акролеїну.

Крім зазначеного, не надаються дані щодо ефективних концентрацій токсичних аерозолів та інформація про можливість прояву токсичних ефектів внаслідок потрапляння ЛПГ на шкіру, хоча існують аналітичні методи з визначення концентрацій аерозолів та біологічні методи, під час яких експозиції окремо піддають все тіло піддослідної тварини або тільки її дихальні шляхи [8, 9].

Повну характеристику розглянутих настанов буде надано після розгляду моделей токсичних газів і втрати маси.

Незважаючи на вказані зауваження, запропоновані настанови щодо оцінювання токсичності ЛПГ продукції мають бути взяті за основу під час перевіряння узгодженості з ними методів, які застосовують на цей час для оцінювання токсичності ЛПГ кабельної, будівельної та іншої полімерної продукції, а також виробів, до складу яких входять полімерні матеріали.

Із розглянутих настанов і зауважень до них, а також зазначених невирішених проблем в методології оцінки токсичності ЛПЗ продукції, актуальним є проведення досліджень щодо:

- а) уточнення номенклатури задушливих і подразнювальних токсичних компонентів та їхніх ефективних концентрацій;
- б) визначення токсичних ефектів, пов'язаних з потраплянням продуктів згоряння в організм людей через органи травлення і шкіру;
- в) визначення впливу надмірної температури та складових летких продуктів горіння на посилення токсичних ефектів.

З урахуванням того, що вихід і концентрація кожного токсичного компоненту залежать від хімічного складу матеріалів, що горять, і умов їх горіння, а також того, що токсичні аерозолі є складовою диму, а кислі гази і аерозолі, що містять їх, спричиняють корозію устаткування та елементів будівельних конструкцій, зазначені дослідження доцільно виконувати комплексно разом з дослідженнями хімічного складу продукції, її займистості, горючості, теплоутворювальної і димоутворювальної здатності та корозійної активності летких продуктів горіння.

Висновки

1. За останні десятиріччя обґрунтовано національні та міжнародні вимоги до випробувань полімерних матеріалів і полімервмісної продукції на токсичність продуктів горіння в системі пожежної безпеки і збереження життя людей та здоров'я населення.
2. Аналіз напрацьованих нормативних документів, досвід експериментальних досліджень показують, що, поряд з численними напрацюваннями і позитивними рішеннями, багато аспектів проблеми залишаються відкритими і потребують подальших теоретичних і прикладних досліджень.

Література

1. Guidelines for assessing the fire threat to people / Publication ISO 19706, Ed. 1.0, 2007.-12 p.
2. Fire hazard testing-Part 7-1: Toxicity of fire effluent-General guidance / IEC 60695-7-1, Ed. 2.0, 2004.-43 p.
3. Fire hazard testing-Part 7-3: Toxicity of fire effluent-Use and interpretation of test results / IEC/TS 60695-7-3, Ed. 1.0, 2002.-63 p.
4. Статистика пожеж та їх наслідків в Україні за 2004-2008 рр.: Статистичний збірник. Під загальною редакцією Я.І. Хом'яка-К.: УкрНДІПБ МНС України, 2009.-98 стор., 50 табл., 37 рис.
5. Fire hazard testing-Part 7-2: Toxicity of fire effluent-Summary and relevance of test methods / Publication IEC/TR 60695-7-2, Ed. 1.0, 2002.-69 p.
6. Life-threatening components of fire-Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data / ISO 13571, Ed. 1.0, 2007.-20 p.
7. Третьякова О.В., Шафран Л.М. Експериментальне обґрунтування системи профілактичних та коригуючих засобів при отруєнні токсичними продуктами горіння полімерних матеріалів // Програма та матеріали науково-практичної конференції «Проблеми діагностики, профілактики та лікування екзогенних та ендогенних інтоксикацій. 13-14 жовтня 2009 року.-Чернівці.-2009. - С. 148-149.
8. Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents / ISO 13344, Ed. 2.0, 2004.-14 p.
9. Controlled equivalence ratio method for the determination of hazardous components of fire effluents / Publication ISO/TS 19700, Ed. 1.0, 2007.-34 p.
10. Fire hazard testing-Part 7-51: Toxicity of fire effluent-Estimation of toxic potency: Calculation and interpretation of test results / Publication IEC/TS 60695-7-51, Ed. 1.0, 2002.-27 p.
11. Fire hazard testing-Part 7-50: Toxicity of fire effluent-Estimation of toxic potency-Apparatus and test method / Publication IEC/TS 60695-7-50, Ed. 1.0, 2002.-42 pp.
12. Analysis of blood for asphyxiant toxicants-Carbon monoxide and hydrogen cyanide / Publication ISO 27368, Ed. 1.0, 2008.-57 p.
13. Methods for sampling and analysis of fire effluents / Publication ISO 19701, Ed. 1.0, 2005.-77 p.
14. Toxicity testing of fire effluents-Guidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FTIR gas

- analysis / Publication ISO 19702, Ed. 1.0, 2006.- 37 p.
15. Образование и анализ токсичных газов при пожаре. Расчет выхода газа, коэффициента эквивалентности и полноты сгорания при экспериментальных пожарах / Публикация ISO 19703, Первое издание 2005, Скорректированная версия 2006.-38 с.
 16. Каган Ю.С., Штабський Б.М. Проблема изучения и оценки комбинированного действия ксенобиотиков // Токсикол. Вестник, 1996. - № 5. С. 2-9.
 17. Кацнельсон Б. А. Комбинированное действие химических веществ / Б. А. Кацнельсон // Общая токсикология / под ред. Б. А. Курляндского, В. А. Филова.-М. : Медицина, 2002.-С. 497-520.
 18. ISO/TR 9122-5: 1993 (E). Technical Report. Toxicity testing of fire effluents-Part 5: Prediction of toxic effects of fire effluents.-Geneva: ISO, 1993.-16 p. (6.2.4.-P. 7-9).
 19. Шафран Л.М., Харченко И.А. Гармонизация методов оценки токсичности продуктов горения полимеров с международными требованиями // Современ. проблемы токсикологии, 2003. - №3. –С.10-15.
 20. Кустов В.В., Тиунов Л.А., Васильев Г.А. Комбинированное действие промышленных ядов.-М.: Медицина, 1975.-255 с.

Резюме

АНАЛИЗ ОБЩИХ ПОЛОЖЕНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ТОКСИЧНОСТИ ЛЕТАЧИХ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ

*Шафран Л.М., Новак С.В.,
Кравченко Р.И., Леонова Д.И.*

Проведен анализ основных положений международной нормативно-методической документации, определяющей требования к проведению испытаний полимерных материалов и полимерсо-

держащей продукции на токсичность продуктов горения в системе пожаробезопасности и сохранения здоровья населения.

Показано, что они охватывают обширную сферу вопросов, касающихся гигиены, токсикологии и безопасного применения полимеров в условиях повышенной пожароопасности. Вместе с тем, ряд положений этих документов дискуссионен, а многие требуют дальнейших целенаправленных исследований для решения теоретических и прикладных задач гигиены, токсикологии и безопасного применения полимеров.

Summary

THE ANALYSIS OF GENERAL PROVISIONS ACCORDING TO TOXICITY OF COMBUSTIVE PRODUCTS OF POLYMERIC PRODUCTION

*Shafran L.M., Novak S.V.,
Kravchenko R.I, Leonova D.I.*

The analysis of substantive provisions of the international standards and methodical documentation defining the requirements to carrying out of tests of polymeric materials and polymercontaining production on the combustive products toxicity in system of fire safety and population health prophylaxis is carried out.

It is shown, that they cover extensive sphere of the questions, concerning hygiene, toxicology and safe application of polymers in the conditions of the raised fire danger. At the same time, a number of positions of these documents is under discussion, and many demand the further purposeful researches for solving theoretical and applied problems of hygiene, toxicology and safe application of polymers.

*Впервые поступила в редакцию 22.12.2009 г.
Рекомендована к печати на заседании редакционной коллегии после рецензирования*