РОЗДІЛ «БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ»

УДК 629.039.58

МАХОВСЬКИЙ В.О., к.т.н, доцент
КРЮКОВСЬКА О.А., к.т.н, доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕК ТА ОЦІНКА НАСЛІДКІВ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ І АВАРІЙ НА СКЛАДАХ БЕЗТАРНОГО ЗБЕРІГАННЯ БОРОШНА ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вступ. У виробництві хлібобулочних виробів в якості сировини застосовують пожежо- та вибухонебезпечну речовину – борошно, пил якої може утворювати вибухопожежонебезпечні суміші з повітрям і вибухати як в замкнутих об'ємах апаратури, так і поза нею. Займання пило-повітряних сумішей ініціюється зовнішніми джерелами запалювання. Виробничі приміщення, як правило, захаращені обладнанням, комунікаціями, перегородками, різними будівельними пристроями, що є перешкодами, які сприяють турбулізації потоків палаючих сумішей, багаторазовому відбиттю ударних хвиль і їх посиленню. Швидкості підвищення тиску в цих випадках сягають високих значень, при яких скидання тиску через спеціально передбачені ослаблені елементи, вікна та двері неможливе, що призводить до руйнування даху і стін будівлі. Руйнівна здатність вибухів пило-повітряних сумішей істотно залежить від форми та обмежених об'ємів приміщень, апаратури, трубопроводів і т.д. [1].

Вибух пилу відбувається при миттєвому поєднанні горючої частини пилу з киснем повітря з виділенням великої кількості тепла і газоподібних продуктів, які, нагріваючись, розширюються і утворюють вибухову хвилю. Сила та інтенсивність вибуху пилу залежать від багатьох факторів і сягають максимальних значень при відповідному співвідношенні горючої маси і кисню. Процес окислення киснем протікає на поверхні твердих частинок пилу. Залежно від структури й властивостей вихідної речовини і умов утворення пилу її частинки можуть мати різну форму, бути гладкими, шорсткими, мати різні розміри, що обумовлює займистість і вибуховість пилу.

Швидкість утворення вибухонебезпечної суміші зростає зі збільшенням поверхні контакту повітря і твердих частинок пилу, тому небезпека вибуху залежить від розміру частинок пилу і вмісту кисню в системі. Дрібнодисперсний пил з розвиненою поверхнею характеризується більшою активністю, більш низькою температурою самозаймання та широким інтервалом між нижньою і верхньою концентраційними межами вибуховості.

При низьких концентраціях пилу відстань між частинками, що знаходяться у зваженому стані, значна, перекидання полум'я від частинки до частинки не відбувається, отже, вибух не поширюється на весь об'єм. Надмірно велика кількість пилу також перешкоджає виникненню і поширенню вибухів, так як в цьому випадку в суміші міститься занадто мало кисню для згоряння пилу.

Велика поверхня частинок обумовлює також високий ступінь адсорбції газів на їх поверхні. Внаслідок більш високої температури кипіння кисню, порівняно з азотом, повітря, що оточує тверді частинки пилу, ущільнюється і збагачується киснем, при цьому його хімічна активність, а, отже, і вибухонебезпечність зростають. Пил, що осів на поверхні твердих предметів, має більш низьку температуру самоспалахування, так як концентрація частинок в ньому зростає, і поліпшуються умови акумуляції тепла.

Вибухонебезпечні аеродисперсні системи можуть виникати ситуативно, наприклад, при струшуванні відкладень пилу. У замкнутому об'ємі технологічного апарата горіння, яке розпочалося і розповсюджується в повітряній суміші, викликає швидке пі-

двищення тиску, що може призвести до розриву апарата, а потім – до вибуху в оточуючих приміщеннях. Тому проблема запобігання та флегматизації вибухів пилоповітряних сумішей в технологічному обладнанні і виробничих будівлях є досить актуальною.

Суспензії борошняного пилу характеризуються широким інтервалом концентраційних меж поширення полум'я: від десятків грамів до кілограмів у 1 $м^3$ повітря. Верхні концентраційні межі поширення полум'я пилу зазвичай досить великі і досягти їх у виробничих приміщеннях навіть при аварійних ситуаціях практично неможливо. Саме тому найбільш важливою є нижня межа, а також більш високі концентрації, при яких досягається максимальна об'ємна щільність енерговидалення.

Займання суміші пилу з повітрям є однією з важливих властивостей пилу, що горить. Вона визначає його здатність поширювати полум'я по всьому об'єму зваженого пилу в повітрі при визначеній мінімальній концентрації цього пилу. Під тиском, що виникає при самозайманні суміші пилу з повітрям, в повітря піднімається стільки пилу, який осів поблизу місця займання, що вибух може поширитися далеко за межі осередку виникнення спалаху [2].

При аналізі наслідків вибухів пилу різноманітних продуктів було встановлено, що найбільші руйнування відбувалися в будівлях старої споруди. Більшість з цих приміщень не мали необхідних площ легкоскидних конструкцій, а в ряді випадків віконні прорізи, які могли в деякій мірі компенсувати легкоскидні вибухові покриття, були закладені міцними стінними матеріалами [3].

Щоб запобігти руйнуванню будівель від вибуху пилоповітряних сумішей, слід передбачати легкоскидні площі будівель, які забезпечать необхідний викид продуктів вибуху пилу, та уникати створення каналів і приміщень на нульових поверхах або у підвалах, в яких можливо скупчення вибухонебезпечного пилу, а також передбачати системи вентиляції та вживати заходів з попередження скупчення в них пилоповітряних сумішей і утворення джерел ініціювання вибуху.

Вибухи пилу можуть відбуватися при трьох обов'язкових умовах: достатній обсяг виваженої або осілої пилоповітряної суміші, наявність окислювача та джерело займання достатньої потужності. Аналіз причин виникнення вибухів показує, що вибухам в приміщеннях передують локальні хлопки в обладнанні і спалахи на окремих ділянках будівлі, що викликає струшування пилу, який осів на підлозі, стінах та інших будівельних конструкціях і обладнанні. Це призводить до утворення вибухонебезпечних концентрацій пилу в приміщенні, вибух якого викликає сильні руйнування. Тому не можна допускати скупчення пилу на підлозі чи обладнанні, так як він може швидко перейти у зважений стан.

Пил, що осідає на нагрітих поверхнях, розігрівається і з плином часу починає тліти. Встановлено, що товщина шару, при якій найшвидше відбувається займання пилу, знаходиться в межах 10-20 мм. Для практичних цілей займистість пилу, що осів на нагрітих поверхнях, визначається мінімальною тривалістю знаходження пилу на поверхні при заданій температурі до моменту його займання або найбільш низькою температурою поверхні, при якій починається тління осілого пилу.

Самозаймання пилу залежить не тільки від товщини його шару, напрямку потоків повітря та їх сили, вологості повітря, а й від ваги й структури частинок пилу, величини зовнішньої і внутрішньої поверхонь пор. На самозаймання пилу можуть суттєво впливати різні домішки. Наприклад, потрапляння мастильних та жиромістких речовин в масу пилу роблять його більш займистим.

Навіть при дуже слабкому струсі осілий тліючий пил може викликати небезпечні спалахи або вибухи. Пил, що має низьку температуру спалаху в виваженому стані, може спалахнути, якщо температура тління осілого пилу вища від температури займання зваженого пилу. Займання тліючого пилу може призвести до утворення відкритого

полум'я. Для прийняття необхідних запобіжних заходів слід своєчасно визначати температуру тління і займання виваженого пилу.

Небезпека займання і вибуху пилу обумовлюється поєднанням двох факторів: наявністю виваженого або осілого пилу і досить міцним джерелом займання. Тому вибуховість пилу в значній мірі визначається характером і силою джерела запалювання, з яким він стикається [4].

Аналіз подій спалахів та вибухів борошняного пилу показав, що слід звертати увагу на наступні джерела займання: відкрите полум'я; іскри; нагріті й гарячі матеріали, поверхні; гарячі простори; теплоту тертя; самозаймання; хімічні реакції; сумарну дію теплових променів; теплоту спалювання.

У кожному конкретному випадку слід вживати заходів з попередження впливу джерела енергії на займання пилу.

Аналіз аварій, що сталися за останні 10 років на підприємствах харчової галузі показав, що найбільша кількість вибухів (28%) припадає на агрегати, в яких відбуваються розмел і перемішування подрібнених продуктів; значна кількість аварій (22%) пов'язана з вибухами в сушильних установках, в яких для сушки продуктів застосовують нагрів; 25% вибухів припадає на агрегати, в яких завжди мається пилоповітряна суміш. Значна кількість вибухів припадає на електрофільтри, пилопроводи, а також локальні об'єми окремих приміщень. Джерелами запалювання пилу були іскри удару і тертя, нагріті поверхні устаткування, відкрите полум'я, самоспалах, іскри статичної електрики і замикання (розмикання) електричних ланцюгів.

Найбільша кількість вибухів відбувається від теплових джерел механічного походження (57%). Електричне обладнання було причиною вибухів в 4,4% випадках, а статична електрика – в 2%. Значна кількість вибухів відбувається з не встановлених причин.

Постановка задачі. Метою роботи є аналіз ймовірних аварійних ситуацій та аварії, кількісна оцінка масштабів зон ураження, їх наслідків при порушенні герметичності обладнання і трубопроводів складів безтарного зберігання (СБЗ) борошна.

Результати роботи. В якості об'єкта дослідження обрано склад безтарного зберігання борошна, який мається на будь-якому хлібопекарському підприємстві.

Склад безтарного зберігання борошна призначений для прийому, зберігання та видачі борошна у виробничий процес.

Борошно надходить на підприємство в спеціально обладнаних автомобілях для перевезення борошна з максимальною місткістю 8 т борошна.

На багатьох підприємствах борошно вивантажується з автомобіля за допомогою пневмотранспортера і надходить у склад борошна силосного типу (силоси). Передбачено також прийом борошна у мішках. Далі борошно з силосів норіями подається у відділення просіювання борошна, обладнане віяльними машинами. Після віяння борошно надходить у вагове відділення, де розташовані ваги. Далі борошно подається у виробничий процес.

Обладнання складу безтарного зберігання борошна призначене для прийому, зберігання та видачі борошна і запускається в дію за допомогою кнопки керування. Кожен з силосів СБЗ обладнаний датчиками верхнього рівня та витяжною вентиляцією.

Небезпеки об'єкта дослідження обумовлені наявністю обладнання та трубопроводів з борошном.

Борошно пшеничне – горючий порошок вологістю від 12,0 до 15,0% (мас.), щільністю 650 кг/м^3, теплотою згоряння 13961 кДж/кг. Дисперсність досліджуваного зразка менша 100 мкм.

Пожежовибухонебезпечні властивості борошна наступні. Сухе борошно характеризується вихороподібним горінням по поверхні та високими язиками полум'я. Суміш борошна з повітрям вибухонебезпечна. Температура займання складає 250°С. Тем-

пература самозаймання 380°С. Температура тління 310°С. Борошняний пил схильний до самозаймання. Нижня концентраційна межа поширення полум'я становить 10-35 г/м^3. Максимальний тиск вибуху 520 кПа. Швидкість наростання тиску: середня – 8 МПа/с; максимальна – 10,6 МПа/с.

Мінімальна енергія запалювання борошняного пилу – 6,4 мДж при вологості 2% (мас.) та 29 мДж при вологості 11% (мас.) [5, 6].

Потенційна небезпека об'єкта дослідження обумовлена створенням вибухонебезпечної концентрації пилоповітряної суміші в технологічному обладнанні або при порушенні герметичності обладнання, руйнуванні арматури і трубопроводів в приміщеннях відділень СБЗ борошна, що може призвести до вибуху, пожежі і пов'язаного з ними переходу аварії на інші технологічні блоки підприємства.

Характеристика складу безтарного зберігання борошна наведена в табл.1, а пшеничного борошна згідно з ГОСТ 26574-85 – у табл.2.

Таблиця 1 – Характеристика складу безтарного зберігання

Найменування виробничих приміщень	Категорія вибухо-пожежної і пожежної небезпечності за НАПБ Б.03.002-2007	Клас вибухонебезпечності або пожежної небезпеки за ПУЕ (ДНАОП 0.00-1.32-01)	Група виробничого процесу за санітарною характеристикою (СНіП 2.09.04-87)
Приміщення СБЗ	В	22	1б

Параметри технологічного процесу безтарного зберігання борошна, установок і одиниць обладнання характеризуються показниками, зумовленими для прийому, зберігання та видачі даного продукту у виробничий процес. Технологія випічки борошняних виробів передбачає ведення технологічного процесу при атмосферному тиску і температурі навколишнього середовища. Процес прийому та видачі борошна характеризується застосуванням пневмотранспорту з використанням повітряних компресорів, норій і шнекових живильників. Небезпека параметрів даного технологічного процесу більшою мірою залежить від стану і працездатності обладнання.

Таблиця 2 – Характеристика властивостей пшеничного борошна

Найменування показника	Характеристика і норма для борошна		
	Вищий	Перший	Другий
Колір	Білий або білий з кремовим відтінком	Білий або білий з жовтим відтінком	Білий з жовтуватим або з сіруватим відтінком
Запах	Властивий пшеничному борошну, без сторонніх запахів (не затхлий)		
Смак	Властивий пшеничному борошну, без сторонніх присмаків (не кислий, не гіркий)		
Зміст мінеральної домішки	При розжовуванні борошна не повинно відчуватись хрускоту		
Вологість,%, не більше	15,0	15,0	15,0
Зольність в перерахунку на суху речовину,%, не більше	0,55	0,75	1,25
Клейковина сира: кількість,%, не менше	28,0	30,0	25,0
Металомагнітна домішка, мг на 1 кг борошна, не більше	3,0	3,0	3,0

Небезпечною складовою технологічного середовища хлібопекарських підприємств є мука. Виходячи з цього, основною небезпекою для них є вибух та пожежа пилоповітряної суміші в обладнанні та відділеннях.

У разі порушення герметичності силосів, конвеєрів та іншого обладнання відбудеться викид борошна у виробничі приміщення складу.

Причинами руйнування (пошкодження) обладнання можуть бути: механічні пошкодження, обумовлені корозією матеріалу; помилки ремонтного та обслуговуючого персоналу; зовнішні чинники.

Найбільш небезпечним випадком за своїми наслідками є порушення герметичності силосу для борошна, в результаті якого викид борошна у силосному відділенні буде максимальним. Це може призвести до створення вибухонебезпечної концентрації в приміщенні, вибуху та пожежі.

Аналіз ймовірних небезпек представлено кількісною оцінкою можливих наслідків передбачуваних аварій, схемами побудови сценаріїв виникнення і розвитку можливих аварій, схемами постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварій, картками небезпеки обладнання.

При аналізі небезпек на складі безтарного зберігання борошна встановлено, що до аварійних ситуацій відносяться створення вибухонебезпечних концентрацій в обладнанні (автоцистерна з борошном, силос для борошна) і порушення герметичності основного обладнання, що може призвести до вибуху, пожежі повітряно-борошняної суміші в приміщенні.

Автомобільні цистерни для перевезення борошна відрізняються від технологічного обладнання тим, що є транспортним засобом, і при їх зупинці, русі та розвантаженні існує небезпека мимовільного їх руху під ухил або по інерції. Неконтрольований рух автоцистерн з борошном також небезпечний можливими зіткненнями і, як результат, ушкодженнями (руйнуваннями) резервуарів автоцистерн і викидом борошна.

Вузол розвантаження автоцистерн передбачає застосування пневмотранспорту, використання повітряних компресорів і трубопроводу.

Вибух, пожежа в автоцистерні та основному технологічному обладнанні може статися у разі утворення у вільному обсязі вибухонебезпечної концентрації і наявності джерела вибуху. Утворення ініціатора вибуху всередині обладнання можливо в результаті електростатичного розряду, при відсутності або несправності заземлення, а також у разі порушень правил пожежної безпеки. Таке поєднання несприятливих факторів можна вважати маловірогідним, однак повністю виключати такий випадок не можна.

Порушення герметичності одного з силосів та трубопроводу призводить до викиду борошна в приміщення СБЗ. Це може призвести до створення вибухонебезпечної концентрації повітряно-борошняної суміші. Вона залежить від об’єму приміщення та кількості розсипаної муки з силосу або кількості борошна з пневмотранспортної системи, яка подається до моменту її зупинки (час до моменту зупинки, приймаємо 300 сек.). Тому розрахунок параметрів ймовірного вибуху виконано для зазначених припущень. Розрахунки виконано за стандартною методикою, викладеною в „Загальних правилах вибухобезпеки” [7].

Для розрахунків параметрів вибуху в автоцистерні та силосі приймаємо наступні вихідні дані:

- максимальне завантаження автоцистерни – 8 т борошна;
- температура навколишнього повітря – плюс 25°С;
- теплота згоряння повітряно-борошняної суміші – 13961 кДж/кг;
- нижня концентраційна межа поширення полум’я становить 10-35 г/м^3;
- кількість борошна, задіяна у вибуху в автоцистерні, – 420 г;
- об’єм силосу – 51,45 м^3;

- кількість борошна, задіяна у вибуху в силосі, – 1800 г.

Для розрахунків параметрів вибуху в приміщенні під силосами при розгерметизації силосу (трубопроводу) приймаємо наступні вихідні дані: розглянутий об'єм приміщення ~ 1150 м^3 (об'єм вільного простору – 80%); кількість борошна, задіяна у вибусі – 32200 г.

Схему постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварій в СБЗ наведено в табл.3, результати кількісної оцінки можливих наслідків ймовірних аварій в СБЗ – в табл.4.

Таблиця 3 – Схема постадійного аналізу умов виникнення та розвитку аварії

№ з/п	Найменування стадії розвитку аварійної ситуації (аварії)	Основний принцип аналізу умов виникнення (переходу на іншу стадію) аварійної ситуації (аварії) та її наслідків	Способи і засоби попердження, локалізації аварії
1	2	3	4
1	Механічний і корозійний знос обладнання (автоцистерна, бункер)	Матеріал, з якого виготовлені цистерни та силоси відповідає ТУ. Контроль технічного стану проводиться згідно з відповідними вимогами безпечної експлуатації.	Контроль технічного стану обладнання.
2	Помилки обслуговуючого персоналу	Помилки персоналу можуть призвести до неконтрольованого руху автоцистерни та транспортної аварії з руйнуванням резервуара автоцистерни. Порушення вимог пожежної безпеки можуть призвести до вибуху обладнання (автоцистерна, силос).	Дотримання вимог щодо періодичної перевірки знань персоналу з ТБ та ОП. Навчання та стажування новоприйнятих працівників. Дотримання правил безпечної експлуатації обладнання.
3	Вплив зовнішніх факторів	До зовнішніх факторів, які можуть призвести до аварійної ситуації і створенню вибухонебезпечної концентрації, слід віднести аварії транспортного характеру, нагрів обладнання ззовні, явища природного характеру (землетрус, урагани, переміщення грунту), терористичні акти.	Принципом роботи автоцистерни, силосів та проектом підприємства не передбачено будь-яких заходів щодо запобігання небезпечного впливу зовнішніх факторів.
4	Порушення герметичності обладнання (автоцистерна, силос)	Порушення герметичності обладнання можливе через механічний знос матеріалу, помилки обслуговуючого персоналу та вплив зовнішніх чинників. Перекидання автоцистерни можливе в результаті впливу зовнішніх факторів.	Дотримання норм безпечної експлуатації. Контроль технічного стану обладнання.
5	Утворення вибухонебезпечної суміші в автоцистерні, силосі	Утворення вибухонебезпечної суміші в автоцистерні, силосі можливе при розвантаженні автоцистерни, наповненні силосів, веденні технологічного процесу.	Контроль і запобігання утворенню в автоцистерні і силосах вибухонебезпечної суміші не передбачені.

Продовження таблиці 3

1	2	3	4
6	Викид борошна	Викид борошна відбувається в результаті розгерметизації основного устаткування блоку як на відкриту площадку, так і в приміщення.	Дотримання норм технологічного режиму та безпечної експлуатації обладнання.
7	Утворення вибухонебезпечної суміші на відкритому майданчику або в приміщенні	Утворення вибухонебезпечної концентрації на відкритому майданчику або в приміщенні можливе при розгерметизації обладнання внаслідок невеликої величини нижньої межі вибуховості пилоповітряної суміші.	Контроль утворення вибухонебезпечної суміші не передбачений. Для запобігання утворення вибухонебезпечної суміші в приміщенні передбачена аспіраційна система.
8	Вибух, пожежа	Вибух суміші борошна з повітрям можливий тільки при наявності ініціатора вибуху і при концентрації пилоповітряної суміші не менше 10-35 г/м^3.	Виняток джерел вибуху. Негайна оцінка аварійної ситуації; оповіщення персоналу підприємства та посадових осіб відповідно до схеми оповіщення.
9	Руйнування будівельних конструкцій, обладнання. Травмування людей	З метою попередження руйнування і розгерметизації устаткування і трубопроводів проводяться періодичні перевірки технічного стану згідно з відповідними вимогами.	Необхідна негайна оцінка аварійної ситуації, видалення людей, не зайнятих ліквідацією аварії та її наслідків, з небезпечної зони.

Таблиця 4 – Результати розрахунку показників вибухонебезпечності пилоповітряної суміші

№ з/п	Найменування параметру, позначення	Од. вим.	Вибух пилоповітряної суміші в автоцистерні	Вибух пилоповітряної суміші у приміщенні	Вибух пилоповітряної суміші у силосі
1	Енергетичний потенціал вибухонебезпечності, E	кДж	5864	359635	24774
2	Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпечності, $Q_в$	—	1,09	4,30	1,76
3	Загальна приведена маса пилу, m	кг	0,13	7,82	0,54
4	Тротиловий еквівалент вибуху, $W_т$	кг	0,05	3,22	0,22
5	R_1	м	0,04	0,56	0,09
6	R_2	м	0,05	0,83	0,14
7	R_3	м	0,09	1,42	0,24
8	R_4	м	0,27	4,15	0,70
9	R_5	м	0,47	7,27	1,22

R_1 – радіус зони повного руйнування будівель і смертельної небезпеки для людей, на межі якої надлишковий тиск по фронту ударної хвилі, $\Delta P \geq 100$ кПа;

R_2 – радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвалення цегляних стін і смертельної небезпеки для людей, $\Delta P = 70$ кПа;

R_3 – радіус зони слабких руйнувань будівельних конструкцій, для відновлення яких потрібно їх часткове розбирання, і смертельної небезпеки для людей на відкритій місцевості, $\Delta P = 28$ кПа;

R_4 – радіус зони слабких руйнувань (руйнування віконних прорізів, покриттів, які легко скидаються) і важкого травмування людей на відкритій місцевості, $\Delta P = 14$ кПа;

R_5 – радіус зони часткового руйнування скління, нижній поріг ураження людей на відкритій місцевості, $\Delta P = 5$ кПа.

Висновки. Результати розрахунків свідчать про те, що найбільшу потенційну небезпеку об’єкта обстеження становить руйнування силосу з борошном в силосному відділенні. При цьому утворюєся пилоповітряна суміш з вибухонебезпечною концентрацією. При наявності джерела вибуху можливі вибух, пожежа, які призведуть до руйнування виробничого обладнання, будівельних конструкцій і травмування людей. Рівень аварії – об'єктовий.

Основним напрямком попередження вибухів пилу повинна бути максимальна герметизація технологічних систем і устаткування, а також систематичне і якісне прибирання виробничих приміщень, що виключають накопичення пилу до небезпечних меж.

Методи попередження вибухів пилу в апаратурі необхідно застосовувати з урахуванням характеру технологічних процесів. До найбільш ефективних з них відносяться організація процесів поза областю поширення полум’я, зниження концентрації кисню в сумішах, уникнення появи як внутрішніх, так і зовнішніх джерел запалювання. На технологічних об’єктах з великими енергетичними потенціалами повинні здійснюватися також заходи, що обмежують масштаби руйнувань і тяжкість наслідків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Файнхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический поход / Файнхельт Ф., Франкен П. – М.: Радио и связь, 1988. – 220с.
2. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / Бесчастнов М.В. –М.: Химия, 1991. – 360с.
3. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики: справочник. Кузьмичев В.Е. – Киев: Наукова думка, 1989. – 260с.
4. Краткая химическая энциклопедия. Т.5. / гл. ред. Кнунянц И.Л. – М.: Советская энциклопедия, 1967. – 288с.
5. Дослідження пожеж: довідк.-метод. посіб. / [Степаненко С.Г., Білкун Д.Г., Яник Я.М., Тимощук Ю.Т.]. – К.: Пожінформтехніка, 1999. – 224с.
6. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник в 2 книгах / [А.Н.Баратов, А.Я.Корольченко, Г.Н.Кравчук и др.]. – М.: Химия, 1990. – 496с.
7. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств: НАОП 1.3.00-1.01-88. – М.: Металлургия, 1988. – 60с.

Надійшла до редколегії 06.10.2014.