

Н. В. Володченкова, канд. техн. наук,  
О. Г. Левченко, д-р техн. наук (Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАНУ),  
В. Г. Здановський, д-р техн. наук (ДУ «ННДППБОП»)

## **ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ДО ДІЇ ВИБУХОВОЇ ХВИЛІ**

*Досліджено вплив уражаючих факторів повітряної вибухової хвилі на елементи виробничих об'єктів підприємств зберігання, переробки та використання зерна з метою підвищення їх вибухобезпеки.*

*Проаналізовано існуючі методи моделювання дії повітряної вибухової хвилі на елементи конструкцій та технологічного обладнання виробничих об'єктів харчової промисловості. На основі експериментальних досліджень розроблено методика визначення параметрів стійкості елементів технологічного обладнання від впливу надлишкового тиску вибухової хвилі. Наведено математичні моделі просторово-часового розвитку (еволюції) ризику під час аварій на небезпечних промислових об'єктах. Удосконалено метод оцінювання вибухозахисту елементів виробничих об'єктів до впливу уражаючих факторів повітряної вибухової хвилі.*

**Ключові слова:** об'єкт підвищеної небезпеки, аварія, безпека, вибухонебезпека, методика, руйнівні наслідки, ризик, маятник, модель, надлишковий тиск, оцінка стійкості.

*Исследовано влияние поражающих факторов воздушной взрывной волны на элементы производственных объектов предприятий хранения, переработки и использования зерна с целью повышения взрывобезопасности.*

*Проведен анализ существующих методов моделирования действия воздушной ударной волны на элементы конструкций и технологического оборудования производственных объектов пищевой промышленности. На основе экспериментальных исследований разработаны методики определения параметров устойчивости элементов технологического оборудования от воздействия избыточного давления ударной волны. Приведены математические модели пространственно-временного развития (эволюции) риска при авариях на опасных промышленных объектах. Усовершенствован метод оценки взрывозащиты элементов производственных объектов к воздействию поражающих факторов воздушной взрывной волны.*

**Ключевые слова:** объект повышенной опасности, авария, безопасность, взрывоопасность, методика, разрушительные последствия, риск, маятник, модель, избыточное давление, оценка стойкости.

*There is shown an the effect of damaging factors of air blast on the elements of the production facilities of storage, processing and use of grain to enhance explosion.*

*An analysis of possible accidents and emergencies on business storage, processing and use of grain, defined by their scale and effects, the gravity of the aforementioned companies, and offered recommendations for improving the effectiveness of the protection of personnel. A plant for carrying out experimental studies and developed appropriate methods to determine the parameters of stability elements of process equipment from the effects of excessive pressure air blast, completed study of the results. Displaying mathematical model to determine the specific forces of interaction with different initial velocities and different sample geometry. Displaying mathematical models of space-time development (evolution) of risk in accidents (emergency) for hazardous industrial facilities. The method of assessment of explosion protection element production facilities to the effects of damaging factors of the air blast.*

**Keywords:** *object of increased danger, accident, safety, explosiveness, technique, devastating risk pendulum model overpressure resistance rating.*

*Актуальність дослідження.* Однією з причин кризової ситуації в економіці, у тому числі і в харчовій промисловості, є те, що переважна більшість промислових об'єктів працює на морально застарілому технологічному обладнанні, що використовується понад 30 років, а дефіцит інвестицій практично блокує процес оновлення основних виробничих фондів. Наслідком цього є падіння технологічної, виробничої та трудової дисципліни, а також безвідповідальне ставлення менеджменту та персоналу підприємств до виконання правил і норм охорони праці, що є визначальними причинами травматизму на виробництві.

Серед іншого, причиною настання аварійних ситуацій (аварій) на підприємствах зберігання, переробки та використання зерна є загоряння продуктів зберігання та переробки, що спричиняє пожежі та вибухові явища, наслідками яких є пошкодження та руйнація будівель і споруд, технологічного та енергетичного обладнання, вихід із ладу комунікацій, у тому числі нещасні випадки з персоналом.

Превентивні заходи, що плануються та проводяться Держгірпромнаглядом України та галузевими структурами, сприяють зменшенню травматизму у агропромисловому комплексі (далі – АПК), до якого належать і підприємства зберігання, переробки та використання зерна, про які йтиметься далі. За рівнем травматизму агропромисловий комплекс посідає друге місце після вугільної галузі. Протягом тільки 2012 року у АПК травмовано 979 працівників, у т.ч. загинуло 116, а за 10 місяців 2013 р. травмовано зі смертельним наслідком 68 осіб.

Проблеми, пов'язані з охороною праці, та великі втрати внаслідок виробничого травматизму (як людські, так і матеріальні) потребують

нового ефективного підходу до організації та реалізації заходів із профілактики та запобігання аварійним ситуаціям виробничих об'єктів агропромислового комплексу.

Відповідно до завдань загальнодержавної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014–2018 рр., сутність такого підходу полягає у створенні системи раціональної превентивної безпеки на виробництві, що забезпечить максимально можливе та економічно обґрунтоване зменшення ймовірності настання аварійних ситуацій і мінімізацію їх негативних наслідків.

*Постановка задачі.* Однією зі складових вирішення цих проблемних питань на підприємствах харчової промисловості, включаючи підприємства зі зберігання, переробки та використання зерна (далі –ЗПВЗ), на наш час є удосконалення проектування будівництва та реконструкції споруд, інженерних і технологічних мереж, комунікацій із заданими рівнями безпеки та надійності на основі дослідження стійкості будівель і технологічних споруд до дії вибухової хвилі та внесення відповідних змін та доповнень у методичні розроблення та інші керівні матеріали.

Тенденції до зростання ймовірності настання аварійних ситуацій цих підприємств викликані недостатнім рівнем вибухової безпеки, специфічністю можливих небезпек, а також недоліками організації та виконання завдань щодо їх запобігання або ліквідації. Відсутні науково-практичні рекомендації щодо безпечних дій виробничого персоналу та керівництва підприємств у таких умовах.

Звертає на себе увагу недосконалість методик прогнозування та оцінювання масштабів і наслідків можливих аварійних ситуацій за фактором дії повітряної вибухової хвилі на підприємствах ЗПВЗ харчової промисловості.

*Мета, завдання і методи дослідження.* Метою роботи є підвищення рівня вибухової безпеки підприємств ЗПВЗ агропромислового комплексу, виходячи з оцінювання стійкості елементів виробничих об'єктів до дії уражаючих факторів повітряної вибухової (ударної) хвилі.

Для досягнення визначеної мети виконано такі етапи досліджень:

- проаналізовано умови та чинники, що зумовлюють ступінь виробничої небезпеки підприємств ЗПВЗ;
- проаналізовано існуючі методи моделювання дії повітряної вибухової хвилі на елементи конструкцій і технологічного обладнання виробничих об'єктів ЗПВЗ;
- проведено експериментальні дослідження параметрів стійкості елементів технологічного обладнання від впливу надлишкового тиску повітряної вибухової хвилі та обґрунтовано отримані результати;
- удосконалено метод оцінювання стійкості виробничих елементів об'єктів ЗПВЗ до впливу уражаючих факторів повітряної вибухової хвилі;
- оцінено масштаби та наслідки ймовірних вибухів на підприємствах ЗПВЗ;

- розроблено науково обґрунтовані рекомендації щодо підвищення вибухобезпеки виробничих об'єктів ЗПВЗ.

У процесі проведення досліджень застосовано: метод аналізу технологічних відхилень під час обґрунтування небезпек, що можуть виникати у разі порушення технологічних регламентів підприємств ЗПВЗ; метод аналізу відмов технологічного обладнання підприємств ЗПВЗ під час вивчення наслідків виходу з ладу окремих агрегатів, систем, пристроїв; метод математичного моделювання під час дослідження параметрів стійкості елементів технологічного обладнання до дії надлишкового тиску повітряної вибухової хвилі; метод побудови «дерева подій» під час дослідження розвитку можливих аварійних ситуацій підприємств ЗПВЗ із урахуванням ефективності протидії систем виробничої безпеки уражаючим факторам повітряної вибухової хвилі.

Також враховано досвід ліквідації аварій та вибухових явищ на підприємствах України та інших держав.

На відміну від існуючих методик запропоновано метод, спрямований на визначення ступеня виробничої небезпеки підприємств ЗПВЗ за фактором вибухонебезпеки на підставі науково обґрунтованих можливих масштабів і наслідків аварійних ситуацій.

Основні теоретичні положення щодо математичного моделювання просторово-структурної еволюції аварійних ситуацій на підприємствах ЗПВЗ, а також методика досліджень енергетичних характеристик повітряної вибухової хвилі фізичного маятника, розроблені у співавторстві з докт. техн. наук, проф. В. С. Гуцем і доц. О. В. Хівричем. У працях [4, 5, 7, 10, 12] проаналізовано аварійні ситуації та їх можливі наслідки, у тому числі травмування; у працях [2, 6, 8] удосконалено метод визначення величини ризику, кількісних характеристик аварійних ситуацій, розроблено математичну модель взаємодії між структурними елементами промислового об'єкта під час розвитку аварійних ситуацій; у працях [3, 11] розроблено методику проведення експериментальних досліджень дії надлишкового тиску повітряної вибухової хвилі на дослідні зразки; у працях [1, 9] розвинуто дослідження механізму взаємодії вибухової хвилі з об'єктом ймовірного руйнування з використанням методів аналогового моделювання на підставі визначення питомої енергії удару повітряної вибухової хвилі.

*Основний зміст.* На початку дослідження розглянуто питання аналізу чинників, що зумовлюють причини настання вибухонебезпечних ситуацій на підприємствах ЗПВЗ; виконано обґрунтування та ідентифікацію небезпек, які можуть виникати під час вибухонебезпечних ситуацій на підприємствах ЗПВЗ; зроблено аналіз небезпек та оцінювання ризику виробничих об'єктів у разі настання на них вибухонебезпечних явищ; аналіз існуючих методів і методик оцінювання уражаючих факторів повітряної вибухової хвилі (далі – ПВХ).

Одними з визначальних причин вибухонебезпеки підприємств ЗПВЗ є те, що при тривалому зберіганні зерна та продуктів його переробки відбувається їх саморозігрів. Борошно, крім того, має властивості псевдорідини, тобто є надзвичайно текучим продуктом. В умовах перекачування зернопродуктів та посиленої вентиляції, що потрібна для збереження їх якості, можуть утворюватися вибухонебезпечні концентрації борошна у повітрі, яким неможливо запобігти. При наявності джерела запалювання стається вибух з усіма його руйнівними наслідками та небезпекою для персоналу, що досить часто відбувається у реальних умовах експлуатації об'єктів підприємств ЗПВЗ. Відповідно ця наукова робота передбачає розроблення заходів щодо попередження цих негативних явищ, а також мінімізацію їх наслідків.

Аналіз ризиків настання вибухових явищ на підприємствах ЗПВЗ свідчить про те, що розроблення та впровадження заходів щодо їх запобігання потребує значних зусиль і фінансових витрат, тобто є причиною зменшення прибутковості підприємства на певний проміжок часу, але завчасне вирішення цих питань дає змогу усунути наявні протиріччя і забезпечити ефективне функціонування підприємства та його подальший розвиток.

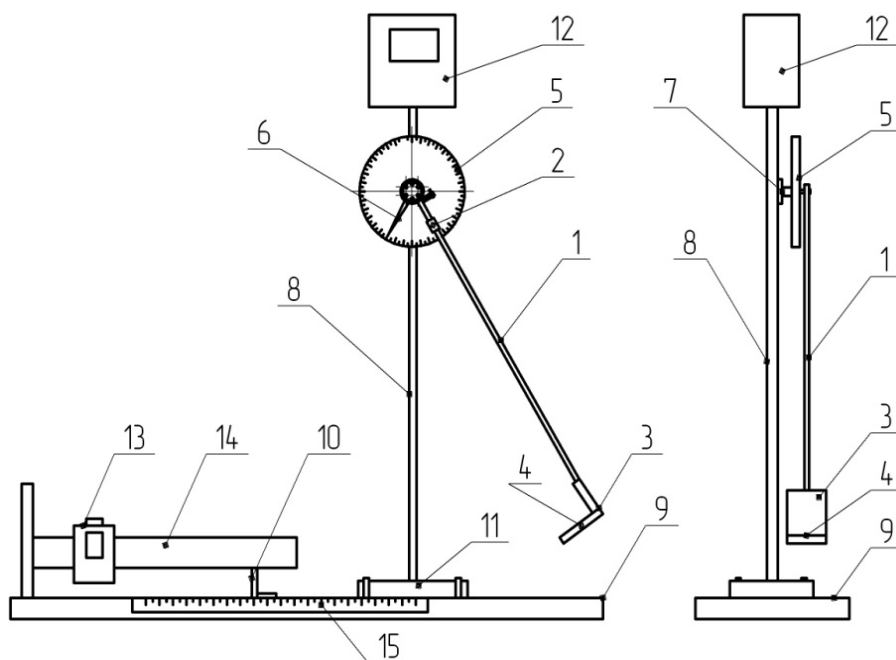
Комплексне застосування методів оцінювання ризику настання вибухів на підприємствах ЗПВЗ дає змогу розробляти та обґрунтовувати ефективні заходи щодо підвищення безпеки їх функціонування.

На сьогодні в Україні не існує єдиного нормативного документа щодо оцінювання вибухобезпеки підприємства. Результати розрахунків за чинними методиками свідчать про наявність розходження значень надлишкового тиску у фронті вибухової хвилі  $\Delta P_{\phi}$  залежно від відстані  $r$  від центру вибуху. Результати розрахунків зон руйнувань промислових об'єктів за чинними методиками перебільшують значення надлишкового тиску порівняно із експериментальними даними більш, як у 3 рази. Ці методики не враховують низку важливих умов і чинників, а саме: агрегатний стан небезпечних речовин, характеристику навколишнього середовища та положення точки ініціювання вибухонебезпечної хмари. Модель «тротилового еквіваленту», що є основою розрахунків потужності вибуху, не повною мірою відповідає реальним процесам, які відбуваються під час вибухів на виробничих об'єктах агропромислового комплексу, для яких характерний дефлаграційний, а не детонаційний режим вибухового перетворення.

Проведений аналіз досліджень виявив недосконалість нормативної бази в Україні з цієї проблеми, ряд неузгодженостей між методиками оцінювання вибухонебезпеки промислового підприємства, які використовуються у процесі розроблення документів (постанов, методик, інструкцій тощо) для підвищення безпеки функціонування промислових підприємств та створення безпечних умов праці, що, в свою чергу, зумовлює потребу в удосконаленні методики оцінювання

вибухонебезпеки, зокрема щодо визначення меж зон руйнувань промислових об'єктів і нормативного їх затвердження.

Наступним етапом досліджень стало створення експериментальної установки для дослідження залежності властивостей різноманітних матеріалів до дії ПВХ за фактором поглинання енергії надлишкового тиску ПВХ (рис. 1). На основі проведених експериментів запропоновано метод моделювання питомої енергії удару ПВХ, за результатами якого визначається стійкість елементів конструкцій та обладнання підприємств ЗПВЗ і обсяги можливих руйнувань.



**Рис. 1. Схема установки для дослідження властивостей різноманітних матеріалів щодо впливу повітряної вибухової хвилі за фактором поглинання енергії:**  
**1 – штанга маятника; 2 – змінний фіксатор; 3 – тримач зразку; 4 – місце кріплення зразка; 5 – шкала; 6 – вказівна стрілка; 7 – підшипниковий вузол;**  
**8 – колона маятника; 9 – станина; 10 – захисний екран; 11 – гвинтовий пристрій;**  
**12 – індикатор кута відхилення; 13 – генератор ПВХ; 14 – спрямовувач руху повітряної хвилі; 15 – вимірювальна лінійка**

Установка зручна тим, що на ній в широких межах можна замінювати досліджувані зразки, а також регулювати умови впливу ПВХ на них. Для цього змінюється відстань, з якої здійснюється вплив ПВХ на зразок або змінюється безпосередньо сам зразок, різний за формою та властивостями.

Дослідження проводили в такому порядку: обирали зразок матеріалу певної форми; на установці для дослідження процесу руху на цей зразок здійснювали вплив ПВХ і фіксували кут  $\alpha$ , на який відхиляється штанга маятника; після виконаної роботи за отриманими даними визначали швидкості руху дослідного зразка; після порівняння швидкостей маятника з дослідним зразком і без нього визначали коефіцієнт поглинання енергії. Наступний зразок обирали іншої форми.

Залежно від форми зразка, його поверхні, відстані до генератора хвиль енергетичні складові удару  $W_k$  і  $W_p$  будуть різні. Порівнюючи їх, можна дати рекомендації щодо захисту промислових виробничих об'єктів та технологічного обладнання від руйнування.

Дослідження проведені за різних початкових швидкостей руху зразка та різних геометричних форм.

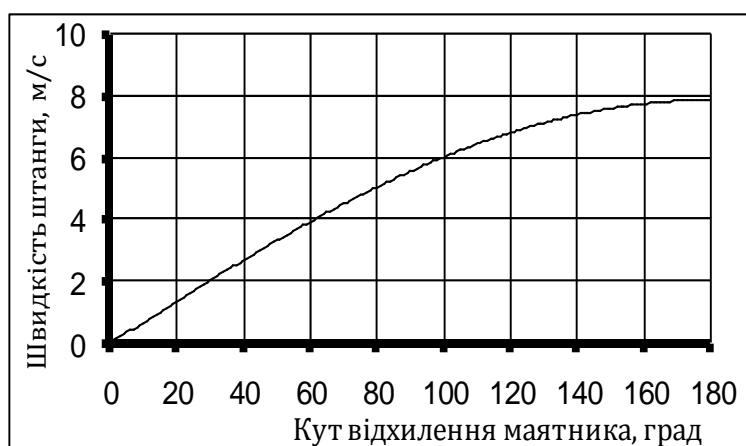
Для визначення питомого зусилля взаємодії  $F_r^{пит}$  запропоновано використовувати таку математичну модель:

$$F_r^{пит} = \frac{F_r}{h} = \frac{k_1 \frac{dy(t)}{dt} - e^{-\frac{k_1 \cdot t}{m}} (C_{тр} + V_{oy} k_1) + C_{тр}}{e^{-\frac{k_1 \cdot t}{m}} - 1} \cdot \frac{1}{h}, \quad (1)$$

де  $\frac{dy}{dt}$  – швидкість руху зразка, м/с;  $m$  – приведена до зразку маса рухомої частини установки;  $C_{тр}$  – коефіцієнт напруження тертя зразка, який залежить від властивостей матеріалу та форми;  $k_1$  – коефіцієнт пропорційності, який враховує вплив швидкості ковзання на зусилля тертя;  $t$  – час переміщення зразка, с;  $V_{oy}$  – початкова швидкість зразка, м/с;  $h$  – довжина лінії відхилення, м.

Отриману модель використано для визначення зусилля взаємодії за допомогою створеної експериментальної установки.

Змінюючи початкову швидкість зразка у повітрі та підставивши у отримане рівняння всі необхідні величини, отримуємо ряд залежностей зусилля взаємодії від початкової швидкості зразка  $V_{oy}$ , структурно-механічних властивостей матеріалу і зусилля тертя між повітрям і поверхнею зразка.



**Рис. 2. Вплив кута відхилення штанги на швидкість руху зразка**

Визначено та експериментально підтверджено залежності властивостей конструкцій різних геометричних форм і матеріалів до впливу ПВХ за фактором поглинання енергії.

Залежності впливу кута відхилення штанги на швидкість руху досліджуваних зразків показано на рис. 2.

Після проведення експериментальних досліджень отримано результати щодо величини потенціальної енергії, що поглинається, для різних зразків (табл. 1)

Таблиця 1

Зразок дослідження	Кут відхилення штанги маятника		Потенціальна енергія, $W_p$
	$\alpha$ , град	$\alpha$ , рад	
Пластина без досліджуваного зразка	72	1,256/0,4 $\pi$	4,169
Зразок з латуні у формі кута 90°	69	1,173/0,383 $\pi$	3,812
Зразок з латуні у формі півкола	56	1,256/0,4 $\pi$	2,536
Зразок з латуні у формі гофри	49	0,952/0,31 $\pi$	1,977
Зразок з поролону	55	0,935/0,306 $\pi$	2,453
Зразок з латуні з поліпропіленом	55	0,935/0,306 $\pi$	2,453

Аналіз експериментальних даних дає можливість зробити висновок, що різні зразки поглинають енергію удару по-різному. При цьому найбільше поглинають енергію зразки матеріалів гофрованої форми [2].

Параметри вибухозахисту виробничого персоналу запропоновано визначати, виходячи з можливих варіантів вибухонебезпечного явища та можливих сценаріїв його розвитку, властивостей небезпечних речовин, а також унеможливлення травмування персоналу і мінімізації масштабів і наслідків аварії.

Для встановлення достовірного значення величини надлишкового тиску та визначення меж ймовірного руйнування будівель і споруд виробничого об'єкта, до запропонованою методики було введено коефіцієнт  $K_g$ , що враховує геометричні особливості конструкції, та коефіцієнт  $K_{буд}$ , що враховує тип матеріалу, з якого виготовлено виробничу будівлю або споруду.

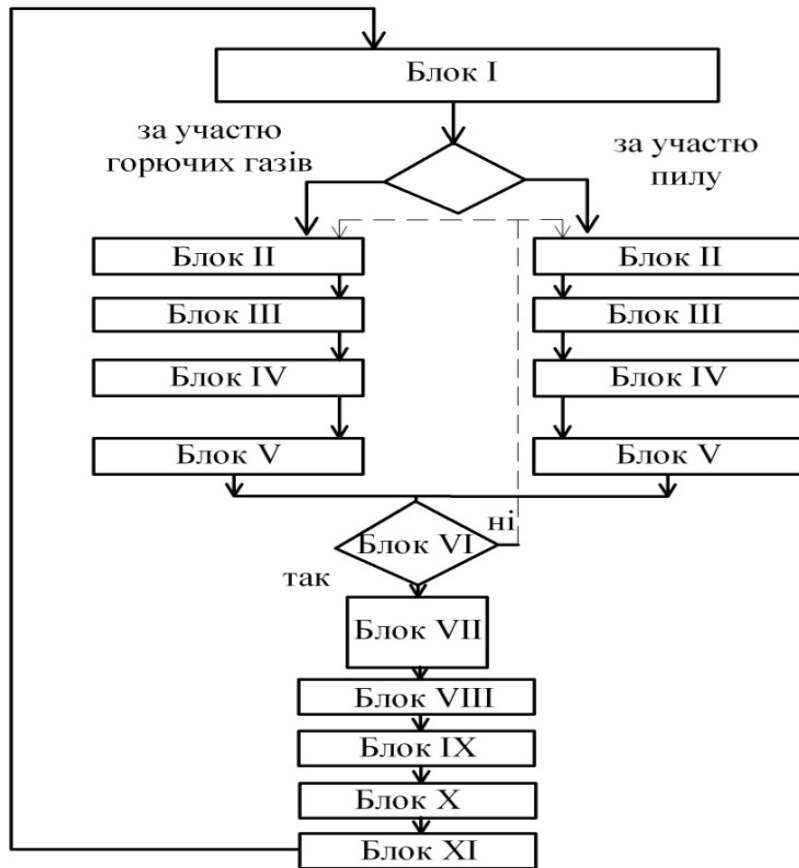
Запропоновану методику оцінювання вибухобезпеки елементів підприємств ЗПВЗ до впливу ПВХ показано у блок-схемі (рис. 3).

У блоці I формулюються вхідні дані: обирається тип аварії (аварійної ситуації) і можливі сценарії її розвитку.

У блоці II формулюються вхідні дані для визначення допоміжних показників, тобто у разі настання аварії (аварійної ситуації) за участю горючих газів визначають:  $V_{во}$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;  $\rho_{г,п}$  – густину газу або пари за розрахункової температури  $t_p$ , кг/м<sup>3</sup>;  $V_a$  – об'єм газу, який вийшов із апарата, м<sup>3</sup>;  $V_T$  – об'єм газу, що вийшов із трубопроводів, м<sup>3</sup>;  $m$  – маса газу, що потрапляє у виробниче приміщення під час розрахункової аварії (аварійної ситуації), кг.

У разі настання аварії (аварійної ситуації) за участю пилу визначають масу пилу  $M$ , що бере участь у вибухах, кг.





**Рис 3. Блок-схема методика оцінки стійкості виробничих об'єктів до впливу повітряної вибухової хвилі**

У блоці III визначають  $C_{ст}$  – стехіометричну концентрацію газів, пари або пилу, % (об.);  $K_n$  – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення і неадіабатичність процесу горіння.

У блоці IV визначається коефіцієнт  $K_r$ , що враховує геометричні особливості конструкції, та коефіцієнт  $K_{буд}$ , що враховує тип матеріалу, з якого виготовлено будівлю або споруду.

У блоці V розраховується величина надлишкового тиску:

- під час аварії за участі газів та пари

$$\Delta p = (p_{max} - p_0) \cdot \frac{mZ}{V_{св} \rho_{г,п}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n} \cdot \frac{1}{K_r} \cdot \frac{1}{K_{буд}} \quad (2)$$

- під час аварії за участі пилу

$$\Delta p = \frac{MN_{т} p_0 Z}{V_{во} \rho_{п} C_{п} T_0 K_n} \cdot \frac{1}{K_r} \cdot \frac{1}{K_{буд}} \quad (3)$$

У блоці VI порівнюються отримані величини надлишкового тиску з допустимими. У разі їх невідповідності замінюються вихідні дані та здійснюються повторні розрахунки.

У блоці VII розраховуються величини надлишкового тиску у фронті ударної хвилі. Якщо  $\Delta P_{ф} > | \Delta P_{ф} |$ , то елемент конструкції вважається таким, що вийшов з ладу.

У блоці VIII визначають небезпечну відстань від центру вибуху до інших виробничих будівель та споруд підприємства.

У IX блоці визначають ступінь можливих травмувань виробничого персоналу (кількість травмованих, розподіл за тяжкістю травм) у цій аварії (аварійній ситуації). Максимальна кількість людей  $N_{\text{заг.буд}}$ , які перебували у будівлях та були травмовані у будівлях та спорудах, визначається як

$$N_{\text{заг.буд}} = N_{\text{пов.р.}} + 0,6 N_{\text{сил.р.}} + 0,15 N_{\text{сер.р.}}, \quad (4)$$

де  $N$  – кількість людей, які перебували в будівлі та споруді:  $N_{\text{пов.р.}}$  – у будівлі, що була повністю зруйнована;  $N_{\text{сил.р.}}$  – у будівлі, що отримала сильні пошкодження;  $N_{\text{сер.р.}}$  – у будівлі, що отримала середні пошкодження.

Загальна кількість травмованого персоналу, розміщеного на відкритій місцевості, визначається за виразом:

$$N_{\text{заг.відк}} = d\varphi \sum 0,6 P_i F_i, \quad (5)$$

де  $d$  – частина людей, які в момент вибуху можуть перебувати в небезпечній зоні поза будівлями;  $\varphi$  – щільність розміщення людей, осіб/км<sup>2</sup>;  $F_i$  – площа території виробничого об'єкта, на яку впливає ПВХ з тиском  $\Delta P_\varphi$ ;  $P_i$  – ймовірність ураження персоналу, що перебуває в  $i$ -ій зоні дії ПВХ.

У блоці X оцінюють обстановку, що може скластися, та приймають рішення щодо здійснення заходів з мінімізації наслідків можливої аварії (аварійної ситуації). Надалі проводиться заміна вихідних даних, виконують повторні розрахунки і перевіряється доцільність прийнятого рішення.

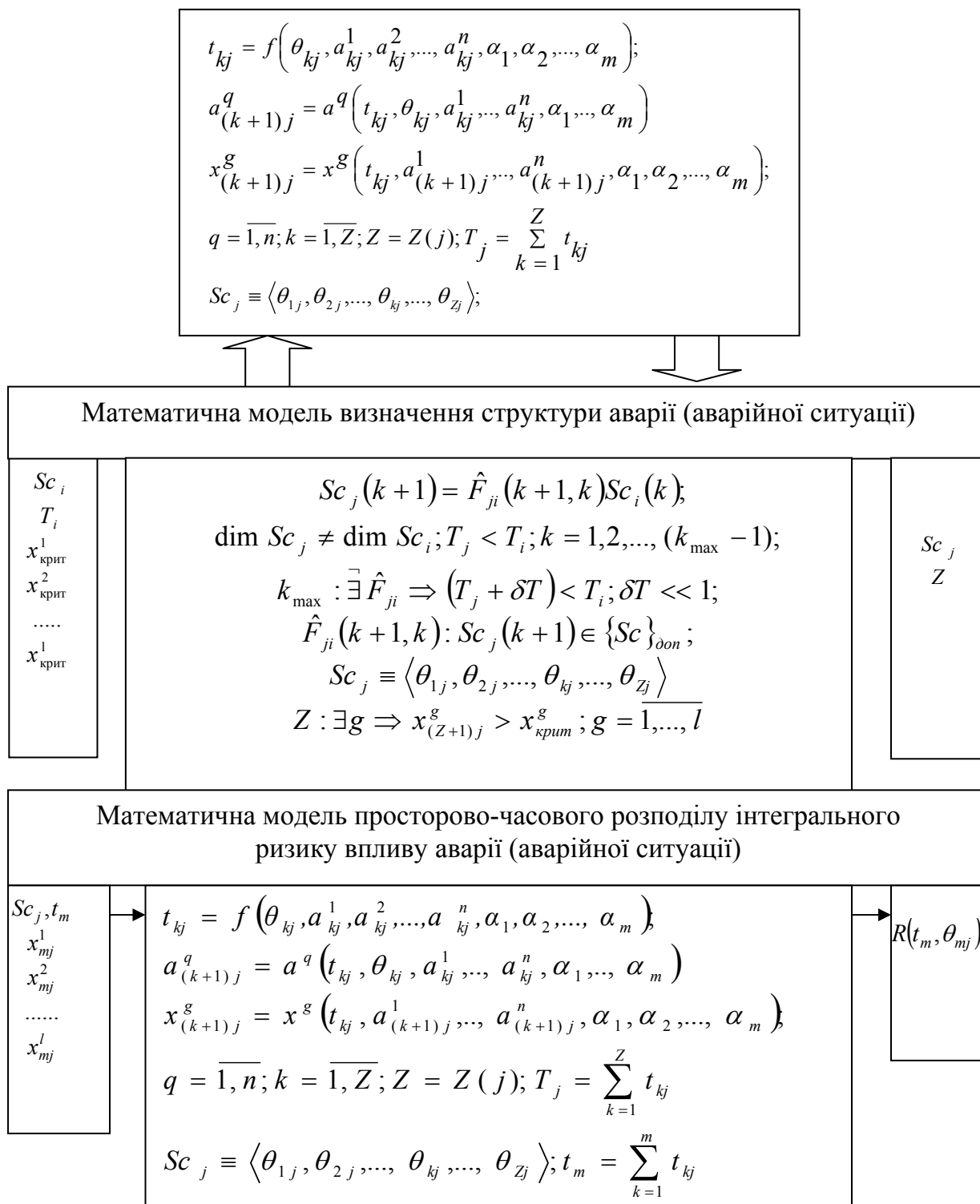
Останній блок – XI, у якому на основі оцінювання усіх попередніх показників розроблено заключні рекомендації щодо типу аварії та її руйнівних наслідків і травматичної дії на виробничий персонал, має зворотний зв'язок з блоком I, що дозволяє гнучко реагувати на зміну величин тих чи інших показників, уточнювати масштаб подій і приймати оптимальне рішення.

За результатами оцінювання вибухонебезпеки виробничого об'єкта роблять висновки і вносять пропозиції щодо кожного елемента і виробничого об'єкта в цілому, а саме: межа стійкості виробничого об'єкта, найуразливіші його елементи, характер і ступінь руйнувань за максимального надлишкового тиску, рівень безпеки виробничого персоналу, можливі збитки; межа доцільного підвищення стійкості найуразливіших елементів виробничого об'єкта і пропозиції (заходи) для підвищення вибухонебезпеки виробничого об'єкта.

Це дало змогу змоделювати просторово-часовий розвиток (еволюцію) ризику аварій виробничих об'єктів підприємств ЗПВЗ. Потреба в цьому пояснюється тим, що зони підвищеного ризику, до яких належать виробничі об'єкти ЗПВЗ, локальні, ситуативні та диктуються перебігом протікання будь-якої аварії. Вони мають тенденцію до зміни ймовірності перебігу вибухонебезпечних явищ і сценаріїв їх розвитку. За таких умов

існуючі системи вибухозахисту вищезначених виробничих об'єктів є малоефективними. Тому виникає потреба в зосередженні відповідних заходів і засобів промислової безпеки на найнебезпечніших напрямках.

Структурну схему математичних моделей наведено на рис. 4.



**Рис. 4. Структурна схема комплексу математичних моделей для визначення просторово-часової еволюції ризику аварії (аварійної ситуації)**

Результати моделювання розвитку аварій дають порівняльні величини різних сценаріїв їх розвитку, що вказує на стійкість реалізованих моделей і методів до випадкових явищ.

Для виробничого персоналу ЗПВЗ небезпека залишається високою через можливі важкі травми, опіки, що можуть виникати за вибухонебезпечних явищ. Досвід експлуатації виробничих будівель і споруд свідчить, що найбільш руйнівними є вибухи у середині приміщення. Вони призводять до руйнування будівельних конструкцій, технологічного обладнання, значних економічних витрат, а також до загибелі людей.

Досліджено, що захисна дія запобіжних конструкцій, що легко скидаються, і конструкцій, що легко руйнуються, полягає в тому, що вони скидаються або руйнуються у початковій стадії вибуху, коли тиск газів продуктів вибуху не досяг критичного значення і є неруйнівним для основних несучих конструкцій каркаса будівлі. Конструкції, що легко скидаються, можуть бути зруйновані на окремі частини – уламки, що розлітаються під різними кутами. Аналітично визначено зони безпеки для виробничого персоналу, а саме межі розльоту конструкцій, що легко скидаються, або їх уламків після відокремлення від будівлі.

Встановлено, що межі розльоту уламків залежать від потужності вибуху, ваги, форми, кута відривання уламків, сили опору, піднімальної сили повітря та багатьох інших факторів. Для визначення зон безпеки виконано розрахунки за умов, що забезпечують максимальну відстань розлітання уламків.

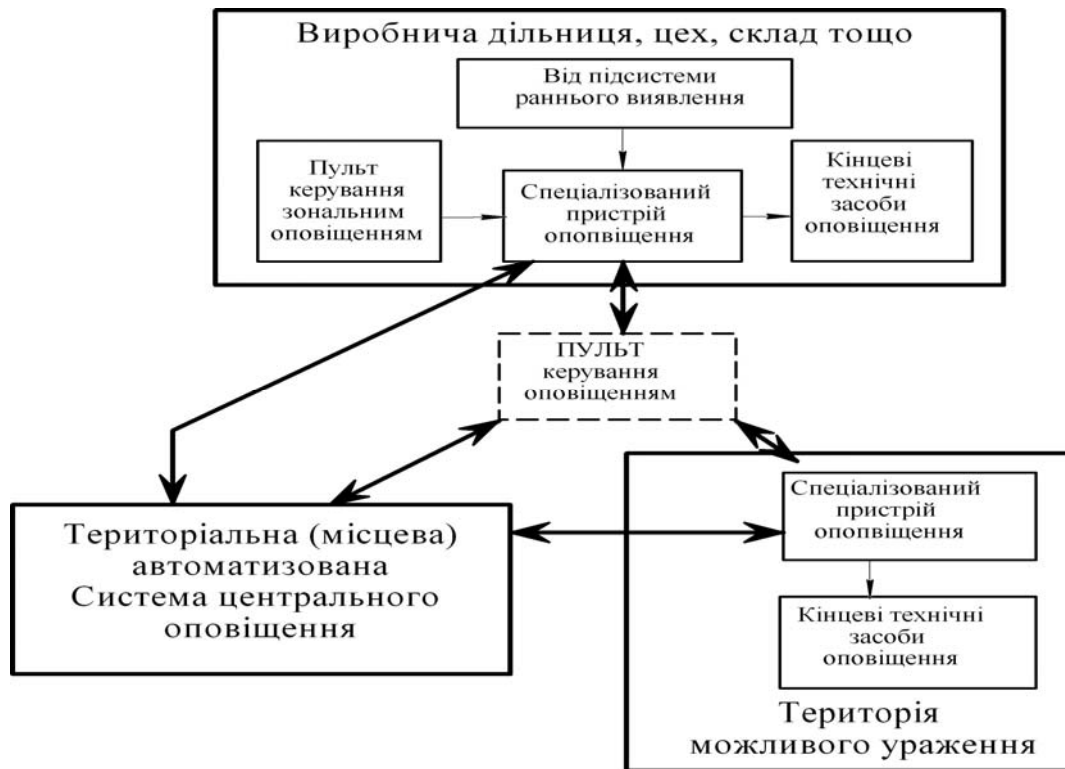
Виходячи з цього, розроблено рекомендації щодо підвищення вибухобезпеки виробничих об'єктів ЗПВЗ, а також запобігання виробничому травматизму, яким супроводжуються аварії та інші небезпечні події на виробництві.

Аналіз наслідків вибухонебезпечних явищ виробництв ЗПВЗ підтвердив потребу віднесення цих підприємств до переліку об'єктів, що підлягають обов'язковому обладнанню системами завчасного виявлення аварій (аварійних ситуацій).

Запропонована схема системи оповіщення виробничого персоналу підприємства (рис. 5) дає можливість з використанням сучасних засобів автоматизації та зв'язку підвищити оперативність доведення інформації про загрозу або факт настання аварії.

Ретельна організація та здійснення наведених заходів дозволяє забезпечити створення безпечних умов праці виробничого персоналу підприємства, своєчасне реагування на аварії (аварійні ситуації), уникнення травмування виробничого персоналу.

Обладнання виробничих об'єктів підприємств ЗПВЗ системами завчасного виявлення аварій (аварійних ситуацій) та своєчасного оповіщення виробничого персоналу у разі їх настання дозволить на ранній стадії упереджувати настання вибухонебезпечних ситуацій і своєчасно реагувати на їх недопущення.



*Рис. 5. Принципова схема системи оповіщення підприємства*

Для підвищення ефективності організації управління охороною праці на підприємствах ЗПВЗ запропоновано використовувати системний підхід, згідно з яким система управління охороною праці розглядається як ієрархічна структура, що є сукупністю функціонально взаємопов'язаних заходів та засобів управління, системи зв'язку, автоматизації та інших систем.

Обрані показники ефективності організації управління охороною праці підприємств ЗПВЗ дають можливість оцінювати як внутрішні властивості системи управління, що створюється під час організації управління, так і відображати її вплив на результат виконання відповідними засобами із запобігання аваріям (аварійним ситуаціям), а також ліквідації (локалізації) їх наслідків. Запропонована класифікація технологічного обладнання підприємств ЗПВЗ за умовами пілоутворення дає змогу обґрунтовано визначати місця встановлення вибухорозрядних пристроїв.

Встановлення вибухорозрядних пристроїв типу PS/R і PS/C на елеваторах, зерносушарках, сепараторах та інших елементах технологічного обладнання уможливорює мінімізацію можливих наслідків вибухонебезпечних ситуацій.

### *Висновки*

Виконані дослідження дозволили:

1. Розробити методику моделювання питомої енергії удару ПВХ, що дало змогу визначити стійкість елементів виробничих об'єктів підприємств

ЗПВЗ та наслідки їх можливих руйнувань. Визначено та експериментально підтверджено залежності властивостей конструкцій від впливу ПВХ за фактором поглинання енергії.

2. Побудувати математичну модель для визначення питомого зусилля взаємодії сил, що діють на досліджуваний зразок у результаті впливу вибуху. Для встановлення достовірного значення величини надлишкового тиску та визначення меж імовірного руйнування будівель і споруд у разі настання вибухів до методики розрахунку запропоновано ввести ряд коефіцієнтів.

3. Побудувати математичну модель просторово-часового розвитку (еволюції) ризику аварій (аварійних ситуацій) на небезпечних виробничих об'єктах підприємств харчової промисловості, включаючи вибухові явища. Ця модель пропонує найбільш ймовірні варіанти їх розвитку та математичну модель взаємодії структурних елементів виробничого ОПН, здатну розрахувати результат взаємодії різноманітних наборів структурних елементів цього об'єкта у перебігу аварійних ситуацій (аварій).

4. Розробити рекомендації щодо обладнання виробничих об'єктів підприємств ЗПВЗ системами завчасного виявлення аварій (аварійних ситуацій) та сповіщення виробничого персоналу про небезпеку, рекомендації щодо організації системи управління охороною праці таких підприємств та реагування на наслідки аварій (аварійних ситуацій), рекомендації щодо встановлення захисних пристроїв на технологічному обладнанні і конструктивних елементах виробничих об'єктів та підвищення рівня їх вибухобезпеки.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що запропонована методика, програмне забезпечення та розроблені рекомендації щодо підвищення стійкості елементів виробничих об'єктів ЗПВЗ до впливу уражаючих факторів вибухової хвилі дають можливість науково обґрунтовано організувати усунення наслідків вибухонебезпечних явищ на підприємствах ЗПВЗ.

Одержані результати можуть бути використані для подальших досліджень, а також удосконалення технічних регламентів (настанов, методик, інструкцій тощо) щодо вибухозахисту та поліпшення умов праці виробничого персоналу на підприємствах агропромислового комплексу.

Основні результати дослідження реалізовано при розробленні планів локалізації та ліквідації аварій на ряді підприємств ЗПВЗ Київської та Черкаської областей, а також у навчальному процесі та науковій роботі Національного університету харчових технологій.

#### Список літератури

1. Гуць В. С. Дослідження руйнівної дії вибухів у середині промислових об'єктів / В. С. Гуць, Н. В. Володченкова, В. М. Фалес // Наук. праці Нац. ун-ту харч. технологій. – К., 2010. – № 33. – С. 102–106.

2. Володченкова Н. В. Моделювання процесу руху зразка матеріалу в повітрі під дією повітряної вибухової хвилі / Н. В. Володченкова,

О. Г. Левченко // Проблеми охорони праці в Україні : зб.наук. праць. – К., 2012. – № 24. – С. 123–131.

3. Левченко О. Г. Аналіз методів і методик оцінки уражаючих факторів повітряної вибухової хвилі / О. Г. Левченко, Н. В. Володченкова // Вісн. НТУУ «КПІ», серія «Гірництво». – К., 2012. – № 22. – С. 202–208.

4. Хіврич О. В. Моделювання просторово-часового розвитку (еволюції) ризику руйнувань небезпечних промислових об'єктів у надзвичайних ситуаціях / Н. В. Володченкова, О. В. Хіврич // Харчова промисловість. – К., 2012. – № 13. – С. 140–145.

5. Володченкова Н. В. Аналіз ризику виникнення аварійних ситуацій на підприємствах харчової промисловості як чинник підвищення безпеки їх функціонування / Н. В. Володченкова, О. В. Хіврич // Ukrainian food journal. – К., 2013, Volume 2, Issue 1. – С. 75–79 (Наукометричне видання).

6. Володченкова Н. В. Аналіз вибухонебезпечних ситуацій на підприємствах харчової промисловості / Н. В. Володченкова, О. В. Хіврич, О. Г. Левченко // Ukrainian food journal. – К., 2013. – Volume 2, Issue 3. – С. 421–428. (Наукометричне видання).

7. Володченкова Н. В. Вибухобезпека виробничих об'єктів харчової промисловості до впливу повітряної вибухової хвилі / Н. В. Володченкова, О. В. Хіврич, О. Г. Левченко // Наук. праці Нац. ун-ту харч. технологій. – К., 2013. – № 51. – С. 57–63.

8. Volodchenkova N. Analysis of objects food industry dangers and estimation of risks origin on them emergency situations/ N. Volodchenkova, O. Hivrich, O. Levchenko // Научни трудове на русенския университет. – Русе, 2013. – Volume 52, book 10.2. – p. 75–78.

9. Володченкова Н. В. Проблемні питання дослідження вибухів газоповітряних сумішей на підприємствах харчової промисловості / Н. В. Володченкова // 77-ма Міжнар. наук. конф. студ., асп. і молодих учених 11 – 12 квітня 2011 р. : тези доп. – К. : НУХТ, 2011. – Ч. II. – С. 250.

10. Левченко О. Г. Дослідження стійкості промислових об'єктів щодо дії повітряної вибухової хвилі // О. Г. Левченко, Н. В. Володченкова // Проблеми охорони пр., пром. та цивільної безпеки : зб. матеріалів сьомої наук.-метод. конф. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – С. 97–99.

11. Володченкова Н. В. Влияние воздушной взрывной волны на объекты различных геометрических форм / Н. В. Володченкова // VIII Междунар. науч.-техн. конф. – Ч. 2 : Тезисы докладов. – Могилёв. МГУП, 2011. – 169 с.

12. Левченко О. Г. Аналіз причин виникнення вибухів на промислових підприємствах / Н. В. Володченкова, О. Г. Левченко, О. В. Хіврич // Проблеми охорони пр., пром. та цивільної безпеки : зб. матеріалів восьмої наук.-метод. конф. – К. : НТУУ «КПІ», 2013. – С. 76–78.

*Дата подання статті до збірника – 04.08.2014*