

від керівництва лабораторії постійного контролю за своєю діяльністю через проведення внутрішніх аудитів, періодичного аналізу прийнятих рішень, роботою над невідповідностями та рекламаціями. Виникає потреба у модернізації обладнання, підбору, атестації та забезпеченні професійного зростання персоналу, заохоченні до сумлінного виконання своїх обов'язків.

#### Список літератури

1. НПАОП 0.00-4.01-08 Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту. Затверджено Державним комітетом України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. Наказ №53 від 24.03.2008. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [p.http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0446-08](http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0446-08).
2. НПАОП 0.00-1.04-07 Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання. Затверджено Державним комітетом України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. Наказ №331 від 28.12.2007. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0285-08>
3. Тарасов В.И. Просто о непростом в использовании средств индивидуальной защиты / В.И. Тарасов, В.Е. Кошелев // Пермь: Стиль-МГ, 2007. - 280 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 19.11.13*

УДК 622.001.57

© В.Ф. Стоєцький, Л.В. Дранишников

## **ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ АВАРІЙ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТАХ**

Виконано аналіз методик оцінки наслідків аварії на промисловому об'єкті з викидом шкідливих та небезпечних речовин в атмосферу і оцінки наслідків вибухів на потенційно небезпечних об'єктах. Показано, що наявні методики, істотно розрізняються за точністю, складністю та глибиною опрацювання процесів формування вражаючих чинників. Надано рекомендації щодо їх практичного використання при декларуванні промислової безпеки небезпечних виробничих об'єктів.

Выполнен анализ методик оценки последствий аварии на промышленном объекте с выбросами вредных и опасных веществ в атмосферу и оценки последствий взрывов на потенциально опасных объектах. Показано, что имеющиеся методики, существенно различаются за точностью, сложностью и глубиной исследования процессов формирования поражающих факторов. Приведены рекомендации относительно их практического использования при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов.

The analysis of methods of estimation of consequences of failure is executed on an industrial object with the troop landings of harmful and dangerous matters in an atmosphere and estimations of consequences of explosions on potentially dangerous objects. It is shown that methods are, substantially differentiate after exactness, by complication and in depth working of processes of forming of striking factors. Recommendations are given in relation to their practical using for declaration of industrial safety of dangerous production objects.

Експертиза великих техногенних аварій і катастроф ХХ й початку ХХІ сторіччя засвідчила, що подальша розробка та реалізація програм науково-технічного розвитку сучасної цивілізації неможлива без системного наукового підходу до розв'язання проблем забезпечення безпечного функціонування структурно-складних систем і розробки математичного апарату для кількісної оцінки ризиків. Створення фундаментальних наукових, правових і економічних основ забезпечення безпеки є однією з цілей державної науково-технічної політики та державної науково-технічної програми з безпеки в промисловому, енергетичному, гірничодобувному, транспортному, будівельному, нафтогазовому й оборонному комплексах, зі створення нових матеріалів і технологій.

З 2001 р. діє Закон України про об'єкти підвищеної небезпеки (Відомості Верховної Ради.–2001.–№15.–с.73), з 2002р. – постанова Кабінету Міністрів України від 11.07.2002р. №956 (ДНАОП 0.00–8.22–02). Законодавчо встановлена та діє процедура про ідентифікацію і декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН), а з 17.06.99р. затверджено «Положення щодо розробки планів локалізації і ліквідації аварійних ситуацій та аварій».

Відповідно до вимог закону розробка декларації безпеки передбачає ідентифікацію небезпеки, всебічний аналіз й оцінку ризиків аварії, а також аналіз ужитих заходів щодо попередження аварій і забезпечення готовності організації до експлуатації ОПН, розробку заходів, які спрямовані на зменшення масштабу наслідків аварії та розміру збитків, нанесених у разі аварії на ОПН. На кожній стадії аварії слід оцінити кількість небезпечних речовин, які застосовуються, встановити чинники ураження, оцінити наслідки дії чинників аварії на сусідні об'єкти з урахуванням їх взаємного розташування та впливу на людей, визначити масштаби зон руйнування, жертви серед населення й зараження місцевості. Оцінка наслідків аварії та окремих її стадій здійснюється за допомогою методик, наведених у нормативно-технічній документації та спеціальній літературі, аналіз же небезпеки подається у вигляді звіту. Для оцінки наслідків аварій, які супроводжуються викидом токсичних речовин, нині використовуються різні методики, які часто дають досить різні результати.

**Метою даної публікації** є визначення доцільної області використання наявних методик при декларуванні промислової безпеки небезпечних виробничих об'єктів.

Аварійні ситуації можуть призвести до розливу нафтопродуктів, утворення вибухонебезпечної хмари, вибуху, пожежі. Далі наведені деякі результати практичного використання моделей і програмних засобів для аналізу й оцінки наслідків аварійних вибухів паливно-повітряних сумішей (ППС) і кількісної оцінки наслідків аварії на промисловому об'єкті з викидом небезпечних хімічних речовин в атмосферу [1–5]. У збірник документів включені наступні методики: методика оцінки наслідків аварійних вибухів паливно-повітряних сумішей; загальні принципи кількісної оцінки наслідків вибухонебезпеки технологічних блоків; методика розрахунку маси речовини та радіусів зон руйнувань, які беруть участь у вибуху; методика оцінки наслідків хімічних аварій (ТОКСІ) [1,2]. Для оцінки наслідків аварій, які супроводжуються викидом токсичних речовин, використовується декілька методик [1,3,4]. Методики [3,4] спрямовані

на виконання завдань ЦО, оскільки вони дозволяють визначити тільки межі зони порогового ураження. Ці методики засновані на емпіричних і слабообґрунтованих співвідношеннях, які істотно завищують реальні наслідки аварій.

Методика ТОКСІ дозволяє визначити просторово-часове поле концентрацій небезпечної хімічної речовини (НХР), розміри зон хімічного зараження, що відповідають різному ступеню ураження людей, який визначається за інгалаційною токсодозою. На сьогодні існують три основних підходи для кількісного опису процесу розсіювання викиду газоподібних речовин в атмосфері:

- моделі Гаусівського розсіювання, або дисперсійні моделі;
- моделі розсіювання, що базуються на інтегральних законах збереження або в хмарі в цілому (миттєвий викид), або в поперечному перетині хмари (тривалий викид), іноді такі моделі називають моделями із зосередженими параметрами (одна з підгруп цих моделей називається моделями розсіювання «важкого газу»);

- моделі, побудовані на чисельному рішенні системи рівнянь збереження в їхньому оригінальному виді (методи прямого чисельного моделювання).

Наслідки викиду небезпечних речовин визначаються в три етапи: визначення потужності й швидкості викиду; визначення поширення забруднюючої речовини після викиду й визначення його впливу на досліджувані об'єкти.

Аварії в промисловості з викидом горючих рідин або зріджених газів можуть відбуватися як у замкнутих обсягах різних приміщень, так і в необмеженому просторі на відкритих технологічних установках. Однією з найбільш серйозних небезпек пожежовибухонебезпечних виробництв є газопарова хмара, що може утворитися при розгерметизації устаткування відкритих технологічних установок, руйнуванні резервуарів для зберігання й випаровування розливів рідин у необмеженому просторі. Утворення хмари може призвести до появи трьох типів небезпек: великої пожежі; вибуху газопароповітряних сумішей; токсичного впливу.

Аналіз аварійних ситуацій показує, що за аварійної розгерметизації устаткування й при наявності джерела запалення виникає пожежа розливів або смолоскипове горіння. Виникнення джерела запалення за умови небезпечних концентраційних меж поширення полум'я (у діапазоні від верхньої концентраційної межі до нижнього його значення), призводить до вибуху. При відсутності джерела запалення в початковий момент часу формується газопарова хмара, що розсіюється за напрямком вітру, становлячи токсичну небезпеку для прилеглих територій.

Розрізняють два основних типи вибуху газопароповітряних сумішей (ГППС) – детонаційний і дефлаграційний. При аварійних викидах горючих речовин на відкритих технологічних установках неможливо заздалегідь пророчити тип і швидкість вибухового перетворення хмари ГППС, тому що умови для виникнення детонації або дефлаграції з відповідною швидкістю фронту полум'я визначаються наприклад такими випадковими факторами як рівень чутливості небезпечної речовини до ініціювання вибухового процесу, наявністю обмеження в навколишньому просторі різними перешкодами, часом і місцем виникнення й потужністю джерела запалювання, ступенем відхилення локального складу

суміші від стехіометричного в момент запалення й т.п. Тому, при прогнозуванні наслідків аварій на пожежовибухонебезпечних об'єктах необхідно попередньо ідентифікувати найбільш імовірний режим вибухового перетворення хмари ГППС.

При детонації процес горіння в хмарі ГППС поширюється з надзвуковою швидкістю, і після закінчення детонації від границі хмари вибуху також з надзвуковою швидкістю починає рухатися повітряна ударна хвиля.

При розгляді детонаційних вибухів хмар ГППС користуються поняттям тротилового еквівалента, вважаючи ці вибухи аналогічними вибуху твердих (конденсованих) вибухових речовин (ВР). Однак такий підхід лише приблизно вірний при значних відстанях до осередку вибуху й приводить до серйозних похибок у ближній зоні, тому що на відміну від вибухів твердих ВР, що є точковим, вибух хмари ГППС є об'ємним.

Рівняння М.А. Садовського [5], що описує характер зміни надлишкового тиску  $\Delta P_\phi$  на фронті повітряної ударної хвилі при вибухах твердих ВР, у ряді методик пристосовано для оцінки наслідків детонаційних вибухів хмар ГППС.

Величина надлишкового тиску  $\Delta P$ , кПа, що виникає при згоранні газопароповітряних сумішей може визначатися як:

$$\Delta P_\phi = 100 \cdot \frac{\sqrt[3]{\alpha \cdot M_{\text{ГПВС}}}}{r} + \frac{\sqrt[3]{(\alpha \cdot M_{\text{ГПВС}})^2}}{r^2} + 1400 \cdot \frac{\alpha \cdot M_{\text{ГПВС}}}{r^3} \quad (1)$$

$$\Delta P_\phi = P_0 \cdot \left( 0,8 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + 3 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + 5 \cdot \frac{m_{\text{пр}}}{r^3} \right), \quad (2)$$

де  $P_0$  – атмосферний тиск, кПа (101 кПа);  $r$  – відстань від геометричного центру парогазового середовища, м;  $m_{\text{пр}}$  – наведена маса газу або пару.

Наведена маса газу або пару (кг) визначається за формулою:

$$m_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{cr}}}{Q_0} \cdot m \cdot z,$$

де  $Q_0$  – константа, рівна  $4,52 \cdot 10^6$  Дж/кг;  $Q_{\text{cr}}$  – питома теплота згорання газу або пару, Дж/кг;  $m$  – маса горючих газів або парів, що потрапили в результаті аварії в навколишній простір;  $z$  – коефіцієнт участі горючих газів і парів у горінні, що приймається рівним 0,1 для відкритого й 0,3 для замкнутого простору.

У рівнянні (1) маса речовини, що беруть участь у вибуху  $M_{\text{ГППС}}$ , множить на коефіцієнт  $\alpha$ , рівний для ГППС  $\alpha \approx 0,7 - 1,0$  залежно від складу суміші. При цьому рівняння (1) справедливо для відстаней, де  $\Delta P_\phi \leq 500$  кПа. Рівняння (2), запропоноване Б.Е. Гельфандом [6], також ураховує тротиловий еквівалент вибуху газопароповітряних сумішей горючих речовин, але на відміну від (1), дозволяє врахувати вид горючої речовини, що беруть участь у вибуху, за його питомаю теплотою згорання.

Рекомендована у керівному документі Держтехнагляду Росії ПБ 09-170-97 [10] для оцінки наслідків вибухів ГППС емпірична залежність застосовується у світовій практиці для вибору безпечних відстаней від місць зберігання бри-

зантних ВР. Ця залежність отримана закордонними авторами на основі закону Хопкинсона в результаті досліджень реальних руйнувань будинків і споруд при вибухах авіаційних бомб під час Другої світової війни і має вигляд

$$r = K \cdot \frac{\sqrt[3]{W_T}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_T}\right)^2\right]^{1/6}}, \quad (3)$$

$$W_T = \frac{0,4 \cdot q'}{0,9 \cdot q_T} \cdot z \cdot m,$$

де  $W_T$  – тротиловий еквівалент вибуху ГППС;  $K$  – константа відповідного рівня руйнувань; 0,4 – частка енергії вибуху парогазового середовища, яка витрачається безпосередньо на формування ударної хвилі; 0,9 – частка енергії вибуху тринітротолуолу (ТНТ), яка витрачається безпосередньо на формування ударної хвилі;  $q'$  – питома теплота згорання парогазового середовища, кДж/кг;  $q_T$  – питома теплота вибуху ТНТ, кДж/кг;  $m$  – наведена маса парогазових речовин, кг;  $z$  – частка наведеної маси парогазових речовин, що беруть участь у вибуху.

Авторами робіт [7] при порівняльному аналізі методик, на основі лінійної регресії, був установлений функціональний зв'язок  $\Delta P_\phi = f(K)$  і було відзначено, що модель (3), у якій вибух парової хмари рівняється з вибухом еквівалентної кількості ТНТ, не здатна представити явища, що відбуваються в ближній зоні об'ємного вибуху ГППС. При дефлаграційних вибухах максимальний надлишковий тиск на фронті повітряної ударної хвилі не залежить від кількості (маси) ГППС, що вибухає. Тому поняття тротилового еквіваленту при дефлаграційному вибуху не має сенсу.

Аналіз літературних джерел дозволяє стверджувати, що в нині немає апробованих математичних моделей вибухового перетворення газопароповітряних сумішей, які дозволяють однозначно прогнозувати швидкість поширення в хмарі фронту полум'я. Цілий ряд авторів і внутрішньовідомчих методик [1,8,11] пропонують для прогнозних оцінок режиму горіння використати експертну таблицю інституту хімічної фізики Російської академії наук (РАН), у якій речовини, здатні до утворення горючих сумішей з повітрям, розділені за чутливістю до ініціювання вибухових процесів, а навколишній простір розбитий на класи у відповідності зі ступенем його захаращеності.

Методики [1,2,8] призначені для кількісної оцінки параметрів повітряних ударних хвиль при вибухах паливоповітряних сумішей (ППС), що утворюються в атмосфері при промислових аваріях. За класом простору, що оточує місце займання хмари ППС і класом речовин, що беруть участь у вибуху з експертної таблиці Інституту хімічної фізики РАН визначається клас режиму горіння речовини. При оцінці передбачається часткова розгерметизація або повне руйнування обладнання, що містить горючу речовину в газоподібній, або рідкій фазі, викид цієї речовини в навколишнє середовище, утворення хмари (ППС), ініціювання ППС, вибухове перетворення (горіння або детонація) у хмарі ППС. Ме-

тодика дозволяє визначати ймовірний ступень ураження людей і ступень руйнування будинків від вибухового навантаження при аваріях з вибухами ППС. Береться до уваги, що в утворенні хмари ППС бере участь горюча речовина одного виду, в іншому випадку (для суміші декількох горючих речовин) характеристики ППС, що використовуються при розрахунках параметрів ударних хвиль, визначаються окремо.

Методика використовується при розробці планів заходів щодо запобігання надзвичайних ситуацій і зменшення величини збитку і величини дрейфу центра хмари ППС. За класом режиму горіння речовини визначається режим вибухового перетворення хмари ГППС і діапазон швидкостей поширення фронту полум'я  $\omega$ , м/с. Методика дозволяє урахувати 6 режимів вибухових перетворень хмар ППС: від детонації до дефлаграції зі швидкістю видимого фронту полум'я 100 м/с. Експертна оцінка діапазону швидкостей поширення фронту полум'я при вибухових перетвореннях хмари ГППС дозволяє для вихідних даних про поведінку газопарових хмари горючої речовини в навколишньому просторі, які складно формалізувати, кількісно оцінювати наслідки розвитку можливих аварій на прилеглий до потенційно небезпечного об'єкта території за тієї чи іншої моделі вибуху.

Відповідно до методики величину дрейфу центра хмари ППС слід приймати такою, що дорівнює 300 м при миттєвій розгерметизації резервуара і 150 м при тривалому витіканні, що відповідає 70 % всіх випадків аварій. Напрямок дрейфу хмари ППС варто приймати виходячи із напрямів вітрів даного регіону або розглядати найнебезпечніший випадок – спрямування вбік найближчого населеного пункту.

Незалежно від характеру розгерметизації, утворена хмара ППС у 20 % випадків розсіюється. Звідси виходить, що утворена маса речовини в хмарі у 20 % цих випадках приводить до забруднення повітряного середовища. В інших випадках відбувається загоряння хмари. Це з однаковою ймовірністю приводить до вибухового перетворення хмари або утворення вогневої кулі. Режим вибухового перетворення хмари ППС визначається за класом простору, що оточує місце загоряння хмари і за класом речовини.

Відповідно до обраного режиму вибухового перетворення, а також залежно від маси палива у хмарі і відстані, що розглядається, за методикою визначаються границі зон повних, сильних, середніх і слабких ступенів руйнування будинків і споруд житлової і промислової забудови. Розрахунки виконуються з використанням моделі оцінки інтенсивності теплових потоків для "вогневої кулі". Початковими даними для розрахунку параметрів ударних хвиль при вибуху хмари ППС є: характеристики горючої речовини, що міститься в хмарі ППС; агрегатний стан ППС (газова або гетерогенна суміш); середня концентрація горючої речовини в суміші; стехіометрична концентрація горючого газу з повітрям; маса горючої речовини, що міститься в хмарі; питома теплота згоряння горючої речовини. Основними структурними елементами алгоритму розрахунку є: визначення маси горючої речовини, що міститься в хмарі; визначення ефективного енергетичного запасу ППС; визначення очікуваного режиму вибухового перетворення ППС; розрахунок максимального надлишкового тиску й імпульсу фази стис-

кання повітряних ударних хвиль для різних режимів; визначення додаткових характеристик вибухового навантаження; оцінка вражаючого впливу вибуху ППС. Незалежно від характеру розгерметизації хмара ППС, що утвориться, в 20 % випадків розсіюється. Звідси витікає, що маса речовини в хмарі, що утворилася, в цих 20 % випадків призводить до забруднення повітряного середовища. В інших випадках відбувається запалення хмари. Це з рівною ймовірністю призводить до вибухового перетворення хмари або утворенню вогневої кулі.

Для обчислення параметрів повітряної ударної хвилі на заданій відстані  $r$  від центра хмари при детонації хмари ППС попередньо розраховується відповідна безрозмірна відстань за співвідношенням:

$$R_x = \frac{r}{(E/P_0)^{1/3}}$$

де  $r$  – відстань від центра хмари, м;  $P_0$  – атмосферний тиск, Па;  $E$  – ефективний запас енергії в суміші, Дж.

Далі розраховуються безрозмірний тиск  $P_x$ . У випадку детонації газової хмари і гетерогенної паливно-повітряної суміші розрахунок виконується за такими формулами:

$$P_x = \exp(-1,124 - 1,66 \ln(R_x) + 0,26(\ln(R_x))^2) \pm 10\%$$

$$P_x = \frac{0,125}{R_x} + \frac{0,137}{R_x^2} + \frac{0,023}{R_x^3} \pm 10\%;$$

У випадку дефлаграційного вибухового перетворення хмари ППС до параметрів, що впливають на величини надлишкового тиску та імпульсу позитивної фази, додається швидкість видимого фронту полум'я  $V_r$  і ступінь розширення продуктів згоряння  $\sigma$ . Для газових сумішей приймається  $\sigma = 7$ , для гетерогенних –  $\sigma = 4$ . Для розрахунку параметрів ударної хвилі при дефлаграції гетерогенних хмар величина ефективного енергетичного запасу суміші множиться на коефіцієнт  $(\sigma - 1)/\sigma$ .

Безрозмірний тиск визначається як:

$$P_{x1} = \left(\frac{V_r}{C_0}\right)^2 \frac{(\sigma - 1)}{\sigma} \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2}\right);$$

Після визначення безрозмірної величини тиску обчислюється відповідної розмірна величина:

$$\Delta P = P_x \cdot P_0,$$

де  $C_0$  – швидкість звуку в повітрі, м/с.

Деякі результати розрахунку надлишкового тиску при вибуху парів пропану в результаті протоки при розгерметизації автоцистерни за формулою (1) і за методикою ППС [1] (клас горючої речовини 2, середньо захарашений простір) представлені на рис. 1. Як видно з рис. 1 надлишковий тиск, обчислений за формулою (1) має суттєво більші значення на початковій ділянці кривої й шви-

дко падає з відстанню в порівнянні з методикою ТВС. Наприклад, на відстані 20 м  $\Delta P$  за формулою (1) буде дорівнює 2223 кПа, за методикою ТВС – 83,18 кПа, на відстані 100 м відповідно 59,9 кПа й 77,7 кПа, на відстані 500 м відповідно 5,7 кПа й 10 кПа. Аналогічні висновки можна зробити і за кривими імпульсу хвилі тиску. Відзначимо, що вибухові хвилі, що генеруються вибухами парогазових і дисперсних середовищ унаслідок малої щільності та інших особливостей процесів горіння, характеризуються нижчими параметрами, ніж вибухи речовин, що конденсуються. При швидкості поширення полум'я, що не перевищує швидкості звуку, виникає дефлаграційне, або вибухове, горіння, під час якого продукти згорання нагріваються до температури 1500–3000 °С і генеруються ударні хвилі з максимальним тиском 20...100 кПа [12]. В ударну хвилю переходить близько 40 % енергії вибуху. Методика ППС враховує клас займистої речовини та вид навколишнього простору. Для практичних розрахунків дефлаграційних вибухів можна рекомендувати методику РД 03-409-01 (ППС). Ту ж методику для детонаційних вибухів, але тільки в ближній і середній зонах осередку вибуху, за умови введення обмежень щодо відстані.

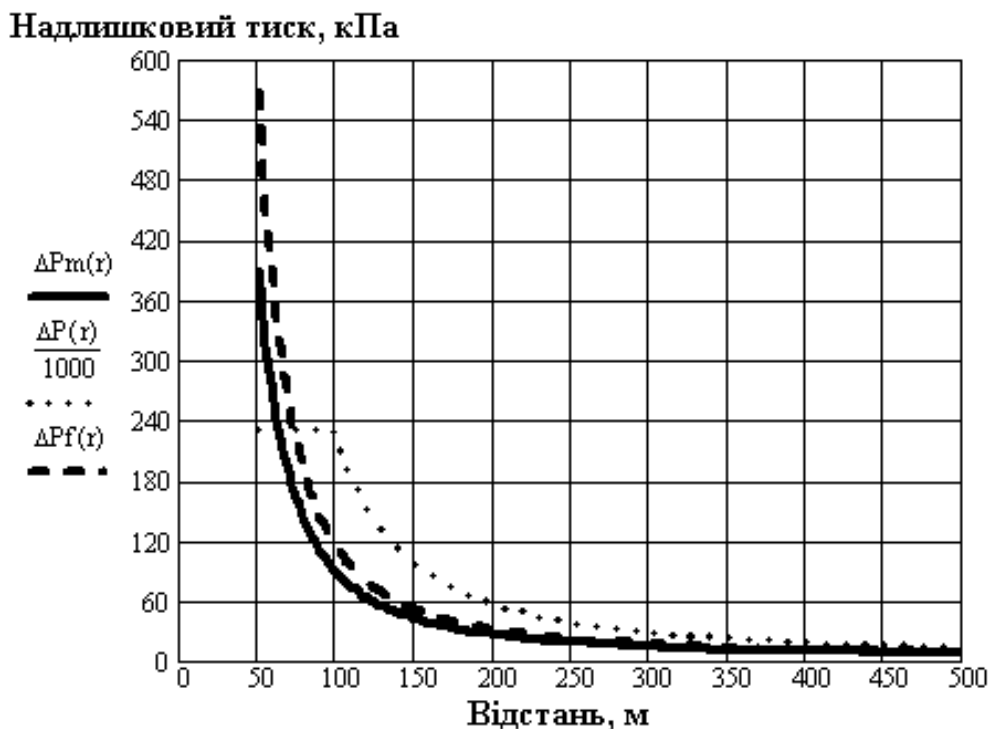


Рис. 1. Залежності надлишкового тиску (кПа) від відстані (м) при вибуху парів пропану в результаті витікання при розгерметизації автоцистерни (11,7 т), розраховані за різними методиками (суцільна крива – за формулою (2), пунктирна крива – за формулою (1), крапки – за методикою ППС)

### Висновки:

1. Методики для розрахунку детонаційних вибухів ГППС на основі тротилового еквівалента (ПБ 09-170-97, за Б.Є. Гельфанду [6], НПБ 107-97, ГОСТ Р 12.3.047-98 ССБТ) неадекватно відображають процес формування надлишкового тиску в детонуючій хмарі і на фронті повітряної ударної хвилі, значно зави-



щуючи (на кілька порядків) в ближній і середній зонах ураження і тільки наближено вірні на великих відстанях від центру вибуху.

2. Методику НТЦ «Промислова безпека» для детонаційних вибухів ГППС [1,2,8] можна використовувати для оцінок наслідків вибухів, але тільки в ближній і середній зонах осередку вибуху, за умови введення обмежень за відстанню.

3. Для практичних розрахунків дефлаграційних вибухів ГППС слід рекомендувати методику НТЦ «Промислова безпека».

#### Список літератури

1. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах. Сборник документов. Серия 27. Выпуск 2. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: НТЦ по безопасности в промышленности и Госгортехнадзора России, 2002. – 206 с.
2. Моделирование аварийных ситуаций на опасных производственных объектах. Сборник документов. Серия 27. Выпуск 5. М.: ОАО НТЦ «Промышленная безопасность», 2006. – 250 с.
3. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. РД 52.04.253-90. М.: Госгидромет СССР, 1991. – 23 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bgd.iate.obninsk.ru/metodika.doc>
4. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10 квітня 2001 р. за № 326/5517. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show>
5. Садовский М.А. Опытные исследования механического действия ударной волны взрыва // Труды сейсмологического института. М.-Л., 1945. – С. 67-89.
6. ГОСТ Р 12.3.047-98 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stroyoffis.ru/gost>
7. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техно-сферы / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2002. - 178 с.
8. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливо-воздушных смесей. М.: Гос-технадзор России. НТЦ "Промышленная безопасность", 1996. – 22 с.
9. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. ПБ 09-540-03. Вып. 11. М: Науч.-техн. центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004. – 108 с.
10. Управление техногенной безопасностью объектов повышенной опасности / В.Ф. Стоецкий, Л.В. Дранишников, А.Д. Есипенко и др. – Тернополь, «Изд-во Астон». 2006. – 424 с.
11. Мاستрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях / Б.С. Мاستрюков. - М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 336 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голінком В.І.  
Надійшла до редакції 15.11.13*