

## **ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ХАРАКТЕР РУЙНУВАНЬ ПРИ АВАРІЙНИХ ВИБУХАХ В ПРИМІЩЕННЯХ**

(представлено д-ром техн. наук Бодянським Е.В.)

В роботі надані рекомендації щодо визначення основних факторів дефлаграційних вибухів в приміщеннях

**Ключові слова:** дефлаграція, газоповітряна суміш, джерело запалювання, надлишковий тиск, характер руйнувань

**Постановка проблеми.** Актуальність роботи пов'язана зі збільшенням випадків аварійних вибухів у приміщеннях, які супроводжуються загибеллю людей та руйнацією будівельних конструкцій. Дослідження обставин та механізму дефлаграційних вибухів відноситься до компетенції пожежно-технічного спеціаліста та проводиться за загальною методикою дослідження пожеж. Разом з тим, деякі особливості дослідження дефлаграційних вибухів газопароповітряних сумішей в об'ємі приміщення не враховуються, що негативно відображається на якості проведення досліджень.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою роботи є надання деяких рекомендацій щодо дослідження дефлаграційних вибухів в приміщеннях у рамках експертної спеціальності «Дослідження обставин виникнення і поширення пожеж».

Різноманітність причин, що призводять до аварійних вибухів, а також умов формування і займання хмари горючої суміші (ГС), що утворюється у вибухонебезпечному приміщенні, визначає різний характер дії вибухів на будівельні конструкції. В деяких випадках внутрішні аварійні вибухи можуть не викликати руйнування будівельних конструкцій. Проте в більшості випадків внутрішні аварійні вибухи призводять до часткового і навіть повного руйнування будівельних конструкцій в будівлі, в якій стався аварійний вибух.

Основні розробки в цьому напрямку спрямовані на прогнозування внутрішніх аварійних вибухів при проектуванні будівель з вибухонебезпечними виробництвами з метою виявлення оптимальних об'ємно-планувальних і конструктивних рішень для зазначених будівель стосовно конкретних умов їх

експлуатації. На підставі даних про очікувані наслідки внутрішніх аварійних вибухів оцінюється економічний ризик при експлуатації будівель з вибухонебезпечними виробництвами.

Прогнозування руйнувань при внутрішніх аварійних вибухах вимагає вирішення низки завдань методами теорії ймовірностей. До таких завдань, зокрема, належать:

- визначення характеристик вибухового навантаження як випадкової величини;
- визначення ймовірності виходу з ладу (руйнування) конструкцій при внутрішньому аварійному вибуху;
- визначення очікуваного характеру та об'єму руйнувань конструкцій в будівлі при внутрішньому аварійному вибуху.

При дослідженні внутрішніх аварійних вибухів характер і об'єм руйнувань конструкцій в будівлі вже відомі, а характеристики вибухового навантаження можна визначити за характером руйнувань, урахувуючи механізм розвитку дефлаграційного вибуху в приміщенні.

Різноманітність причин, що призводять до аварійних вибухів, а також умов формування й займання хмари горючої суміші (ГС), що утворюється у вибухонебезпечному приміщенні, визначає різний характер дії вибухів на будівельні конструкції. У деяких випадках внутрішні аварійні вибухи можуть не викликати руйнування будівельних конструкцій. Проте в більшості випадків вони призводять до часткового та навіть повного руйнування будівельних конструкцій будівлі, де стався аварійний вибух.

При аналізі характеру руйнувань необхідно враховувати, що аварійні вибухи всередині будівель і приміщень характеризуються не детонаційним, а дефлаграційним типом вибухового перетворення, що накладає певні особливості на способи визначення вибухових навантажень і на методи дослідження наслідків аварійних вибухів. Дефлаграційний вибух – це швидке горіння газоповітряної суміші, концентрація пального в якій знаходиться між нижньою і верхньою концентраційними межами займання, тобто суміші, підготованій до горіння. Основні сліди дефлаграційного горіння формуються за рахунок руйнування будівельних конструкцій. У зв'язку з цим, як основні показники при аналізі наслідків аварійних вибухів ГС пропонується приймати характер і об'єм руйнувань

будівельних конструкцій будівлі (споруди), у якій відбувається аварійний вибух.

Зусилля, які виникають при внутрішньому аварійному вибуху в конструкціях, які входять до складу елементів зовнішньої огорожі вибухонебезпечного приміщення (стіни, підлога, стеля), залежать від надлишкового тиску  $\Delta p_m$ , діючого на елементи цієї огорожі. Тобто, саме величина надлишкового тиску, а не ударна хвиля (як при детонаційному вибуху), визначає характер і ступінь руйнувань огорожувальних конструкцій.

При визначенні  $\Delta p_m$  спочатку доцільно встановлювати надмірний тиск  $\Delta p_{m.кв}$ , який виникає в усьому приміщенні (як при квазістатичному процесі). При малих швидкостях поширення полум'я, що утворюється при вибуховому горінні ГС, величина  $\Delta p_{m.кв}$  зазвичай визначає вибухове навантаження, діюче на конструкції, які входять до складу елементів зовнішнього обгороджування вибухонебезпечного приміщення.

Для визначення  $\Delta p_{m.кв}$  можуть використовуватися залежності, призначені для розрахунку запобіжних конструкцій. Розрахунки, пов'язані з прогнозуванням наслідків внутрішніх аварійних вибухів, можуть бути використані для встановлення причини дефлаграційних вибухів. Зокрема, вираз для розрахунку  $\Delta p_{m.кв}$  може бути наданий у наступному вигляді

$$\Delta p_{m.кв}^{1/2} = \frac{0,105 u_{н.р} \alpha_c (\varepsilon_c - 1) \beta_\mu K_\phi V_{прим}^{2/3} \rho_0^{1/2}}{\sum_{i=1}^n S_{k.i} K_{руйн.i}}, \quad (1)$$

$u_{н.р}$  – розрахункова нормальна швидкість полум'я, м/с;  $\alpha_c$  – показник інтенсифікації вибухового горіння ГС;  $\varepsilon_c$  – розрахункова міра стискування продуктів горіння при вибуховому горінні ГС у замкнутому об'ємі;  $\beta_\mu$  – коефіцієнт, що враховує вплив міри заповнення об'єму вибухонебезпечного приміщення ГС на величину  $\Delta p_{m.кв}$ ;  $K_\phi$  – коефіцієнт, що враховує вплив форми вибухонебезпечного приміщення та ефекту витікання продуктів горіння ГС на величину  $\Delta p_{m.кв}$ ;  $V_{прим}$  – вільний об'єм вибухонебезпечного приміщення, м<sup>3</sup>;  $\rho_0$  – розрахункова щільність газу у вибухонебезпечному приміщенні перед займанням ГС, кг/м<sup>3</sup>;  $S_{k.i}$  – площа отворів у зовнішньому обгороджу-

ванні вибухонебезпечного приміщення, що перекриваються конструкціями  $i$ -го типу, які можуть розкриватися при внутрішньому аварійному вибуху,  $m^2$ ;  $K_{руйн.i}$  – коефіцієнт, що характеризує руйнацію конструкцій  $i$ -го типу при внутрішньому аварійному вибуху;  $n$  – число типів конструкцій у зовнішньому обгороджуванні вибухонебезпечного приміщення, які можуть розкриватися при внутрішньому аварійному вибуху.

При вказаній розмірності  $u_{н.р}$ ,  $V_{прим}$ ,  $p_0$  і  $S_{k.i}$  величина  $\Delta p_{т.кв}$  у формулі (1) виражається в кПа.

Розрахункова нормальна швидкість полум'я визначається за формулою

$$u_{н.р} = 0,55u_{н.мах}, \quad (2)$$

$u_{н.мах}$  – можлива максимальна нормальна швидкість полум'я.

Для газо- і пароповітряних горючих сумішей  $u_{н.мах}$  слід приймати рівній нормальній швидкості полум'я, що відповідає горючій суміші стехіометричної концентрації. Для пилоповітряних горючих сумішей величина  $u_{н.мах}$  відповідає такій концентрації пилу в горючій суміші, за якої нормальна швидкість полум'я досягає найбільшої величини.

Значення  $u_{н.мах}$ , а також інших параметрів горючої суміші, які використовуються при розрахунках, приймаються за даними, наведеними у відповідній нормативній і довідковій літературі або отриманими в результаті експериментальних досліджень.

Величина показника інтенсифікації вибухового горіння горючої суміші, що входить у вираз (1), має визначатися з урахуванням особливостей розповсюдження полум'я в даному приміщенні. При цьому особлива увага повинна приділятися впливу перешкод (у вигляді устаткування й будівельних конструкцій), що знаходяться на шляху поширення полум'я, на інтенсифікацію вибухового горіння ГС.

При призначенні величини  $a_g$  доцільно користуватися експериментальними даними, отриманими стосовно тих або інших конкретних умов. За відсутності таких даних значення  $a_g$  може прийматися за довідковими даними в залежності від міри захаращення приміщення устаткуванням і будівельними

конструкціями, а також об'єму приміщення, зайнятого продуктами горіння горючої суміші.

Об'єм приміщення  $V_{г.прим}$ , зайнятий продуктами горіння горючої суміші, може визначатися за формулою

$$V_{г.прим} = \begin{cases} V_{0.прим} & \text{при } V_{0.пл.кв} \geq V_{0.прим}; \\ V_{0.пл.кв} & \text{при } V_{0.пл.кв} \leq V_{0.прим}. \end{cases}, \quad (3)$$

де оцінка об'єму полум'я (при квазістатичному процесі)  $V_{0.пл.кв}$  визначається за формулою

$$V_{0.пл.кв} = 0,5\mu_v V_{0.прим} \varepsilon_p \left[ 2 - \frac{\Delta p_{т.кв}}{(\varepsilon_c - 1)p_0} \right], \quad (4)$$

$\mu_v$  – міра заповнення приміщення ГС і її участі у вибуху;  $\varepsilon_p$  – розрахункова міра теплового розширення продуктів горіння ГС;  $p_0$  – тиск у приміщенні перед займанням ГС.

Значення  $\mu_v$ ,  $\varepsilon_p$  та  $\varepsilon_c$ , що входять у вирази (1) і (4), визначаються за формулами

$$\mu_v = \frac{M_z z_z}{V_{прим} c}, \quad (5)$$

$$\varepsilon_p = 0,5(\varepsilon_{п.НКМП} + \varepsilon_{п.маx}), \quad (6)$$

$$\varepsilon_c = 0,5(\varepsilon_{с.НКМП} + \varepsilon_{с.маx}), \quad (7)$$

$$V_{прим} = V_{0.прим}(1 - \theta_3), \quad (8)$$

$$c = 0,5(c_{НКМП} + c_{маx}), \quad (9)$$

$M_z$  – маса горючого газу або парів горючої рідини, що потрапляють в приміщення в аварійних ситуаціях, або кількість пилу, яка може утворювати вибухонебезпечну суміш (визначається згідно діючих нормативних документів);  $z_z$  – коефіцієнт участі пального у вибуху (визначається згідно з чинними нормативними документами);  $\varepsilon_{п.НКМП}$  – міра теплового

розширення продуктів горіння ГС з концентрацією пального, що відповідає нижній концентраційній межі поширення полум'я;  $\varepsilon_{p,max}$  – міра теплового розширення продуктів горіння горючої суміші з такою самою концентрацією пального, що й при визначенні величини  $in,max$ ;  $\varepsilon_{c,НКМП}$  – міра стискування продуктів горіння при вибуховому горінні в замкнутому об'ємі ГС з концентрацією пального, відповідною нижній концентраційній межі поширення полум'я;  $\varepsilon_{c,max}$  – міра стискування продуктів горіння при вибуховому горінні в замкнутому об'ємі ГС з такою самою концентрацією пального, що й при визначенні величини  $in,max$ ;  $c_{НКМП}$  – масова концентрація пального в ГС, що відповідає нижній концентраційній межі поширення полум'я;  $c_{max}$  – масова концентрація пального в ГС, що відповідає можливій максимальній нормальній швидкості полум'я  $in,max$ ;  $\theta_3$  – ступінь захарачення приміщення обладнанням та будівельними конструкціями.

Для визначення  $K_\phi$  у виразі (1) використовується формула

$$K_\phi = \begin{cases} 0,5(b_n^2 + h_n^2) / V_{0,прим}^{2/3} & \text{при } h_n \leq a_n; \\ 0,5(b_n^2 + h_n^2) / V_{0,прим}^{2/3} & \text{при } h_n \geq a_n, \end{cases} \quad (10)$$

$a_n$ ,  $b_n$  і  $h_n$  – довжина, ширина та висота вибухонебезпечного приміщення.

Якщо при розрахунку за формулою (10) виявиться, що  $K_\phi > 1$  або  $K_\phi < 0,35$ , то треба приймати відповідно  $K_\phi = 1$  або  $K_\phi = 0,35$ .

Формула (10) використовується для визначення  $K_\phi$  у тих випадках, коли  $\mu_v > \mu_c$ . При  $\mu_v < 0,01$  слід приймати  $K_\phi = 1$ . Для проміжних значень  $\mu_v$  ( $0,01 < \mu_v < \mu_c$ ) величина  $K_\phi$  знаходиться лінійною інтерполяцією.

Якщо вибухонебезпечне приміщення має форму відмінну від прямокутного паралелепіпеда, то для визначення  $K_\phi$  допускається розглядати приміщення з тим самим об'ємом  $V_{0,прим}$  у вигляді паралелепіпеда з розмірами, які найповніше відповідають конфігурації вибухонебезпечного приміщення. Зокрема, для приміщення у вигляді кулі розрахунковий об'єм може бути прийнятий у вигляді рівновеликого куба.

**Висновок.** Швидкість полум'я та квазістатичний тиск дефлаграційного вибуху значною мірою впливають на характер руйнувань огорожувальних конструкцій. Разом із цим, для визначення механізму розвитку дефлаграційного горіння необхідно також враховувати геометричні параметри газоповітряної хмари, об'ємно-планувальні особливості приміщення, особливості розміщення технологічного та іншого обладнання в приміщенні тощо. Тому, результати моделювання дефлаграційних вибухів у приміщеннях дуже чутливі до зміни конкретних параметрів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов.- Пилюгин Л.П.. 2010 г., 380 с.
2. Комаров А.А. Анализ последствий аварийного взрыва природного газа в жилом доме. Журнал «Пожаровзрывобезопасность». т.8, №4, 1999г. С.49-53.
3. Комаров А.А., Г.В.Чиликина Условия формирования взрывоопасных облаков в газифицированных жилых помещениях. Журнал «Пожаровзрывобезопасность», т.11, №4, 2002г. С.24-28.
4. ДСТУ 2272-2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення.

Рябинин И.Н.

### **Факторы, влияющие на характер разрушений при аварийных взрывах в помещениях**

В статье изложены рекомендации по определению основных факторов дефлаграционных взрывов в помещениях

**Ключевые слова:** дефлаграция, газоздушная смесь, источник зажигания, избыточное давление, характер разрушений

Ryabinin I.N.

### **Factors affecting the pattern of destruction at emergency explosions in the premises**

In the article contains the recommendations for determination of the main factors deflagration explosions in the premises

**Key words:** deflagration, air-gas mixture, ignition source, excessive pressure, the nature of the destruction