

Квітковський Ю.В., викл., УЦЗУ

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕЛЕМЕНТІВ СПОРУД ЦИВІЛЬНОЇ ОБОРОНИ НА ДІЮ ВИСОКОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

(представлено д-ром техн. наук Куценком Л.М.)

Наведена методика визначення температурного поля та температурних напружень, що можуть виникнути у елементах споруд цивільного захисту під час пожеж на промислових підприємствах.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день в Україні існують підприємства, де у великих кількостях використовуються речовини з високою температурою горіння, як рідкі, так і тверді (магній, натрій, алюміній, окисли металів тощо). Нормативні документи зазначають, що на території подібних підприємств повинні будуватися захисні споруди, які «призначаються для захисту в мирний час персоналу, який переховується від наслідків аварій, катастроф та стихійного лиха, які загрожують масовому ураженню [1]».

В той же час під час проектування подібних споруд не враховуються особливості силових навантажень, які виникають під час тих чи інших ймовірних надзвичайних ситуацій. Зокрема це стосується теплових впливів на конструкції, що можуть виникнути під час пожежі на підприємстві, де використовуються вищевказані речовини. Результатами теплової дії на споруди цивільної оборони під час горіння подібних речовин можуть бути:

- затікання горючих речовин в споруди крізь щілини, повітрязабиральники та інші отвори;
- виникнення складного термонапруженого стану в конструкціях з негорючих матеріалів;
- втрата стійкості конструкцій;
- порушення герметичності та зміни фізико-механічних властивостей матеріалів цих конструкцій.

З урахуванням цього елементи споруд, на які можуть діяти речовини з високою температурою горіння, повинні розраховуватися на комбіновану дію механічних та теплових навантажень.

Основними параметрами, які відзначають результати дії горючих речовин на конструкції споруд цивільної оборони є:

- температура горіння;
- час горіння;
- кількість та різновид речовини, що потрапила на споруду;
- щільність розподілу суміші по площі конструкції;
- інтервал між окремими впливами;
- властивості конструкції та матеріалів, з яких вони виготовлені.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існуюча нормативні документи, які регламентують проектування і розрахунок конструкцій споруд цивільної оборони та приймання їх у експлуатацію [1, 2], а також спеціальна література, зокрема [3], враховують дію на споруди ударної хвилі ядерного вибуху. Щодо можливості високотемпературних впливів на конструктивні елементи споруд, то подібні випадки в літературі не враховуються і не розглядаються. Відповідно, рекомендацій щодо розрахунку конструкцій на подібні впливи в нормативній та спеціальній літературі не надається.

В той же час література, що розглядає дію горючих речовин на конструктивні елементи будівель та споруд [4, 5], присвячена, у частині стосовній, дії запалювальної зброї. Іншими словами, в ній надається методика визначення стійкості конструкцій до моменту її наскрізного пропалювання, причому в цій методиці не враховуються теплофізичні характеристики матеріалів, конструктивні ознаки елементів, що зазнають нагрівання тощо.

Постановка завдання та його вирішення. Для того, щоб під час проектування захисних споруд враховувати можливість температурної дії на конструктивні елементи, необхідна відповідна методика, за допомогою якої можна було б розраховувати споруди цивільної оборони на дію високої температури.

Температурному впливу у першу чергу можуть піддаватися захисні пристрої на входах (захисні двері, люки, ворота), на повітрозабираючих та повітровихлопних отворах (захисні оголовки та клапани), на вводах наземних інженерних комунікацій, тощо. Основні несучі залізобетонні конструкції можуть бути вкритими ґрунтовою обсіпкою, яка захищає їх від прямої дії високої температури.

Оцінка теплової дії на елементи споруд відтворюється шляхом розрахунку, який включає в себе визначення температурного поля, термонапружень у конструкціях та перевірку стійкості окремих елементів [5]. В результаті визначаються розміри пере-

Загальна методика розрахунку елементів споруд цивільної оборони на дію високої температури

ризів елементів, при яких зберігається їх несуча здатність та захисні властивості в умовах інтенсивного нагрівання і одночасової дії високих температур та тиску [5].

При визначенні температурних полів враховується положення конструкції (вертикальне, горизонтальне), особливості її зовнішньої поверхні (шорстка, гладка) та різновид горючої речовини. На вертикальних або нахилених поверхнях рідкі горючі речовини, внаслідок стікання, розташовуються у вигляді паралельних смуг, ширина яких залежить від кількості та властивостей речовини. Тверді горючі речовини в цьому випадку накопичуються у нижній частині конструкції.

На горизонтальних поверхнях рідкі горючі речовини покривають ділянки, які за формою наближаються до кола. У цьому випадку підведення тепла здійснюється здебільшого по кільцю на межі ділянки. Тверді речовини розташовуються у вигляді окремих шматків. При горінні твердих речовин тепло підводиться також до площі, яка покрита горючою речовиною.

В обох випадках конструкція зазнає локальних нагрівань на обмежених ділянках. Тобто, на відміну від стандартних випадків, прогрів конструкції по площі нерівномірний.

Температурне поле при локальному нагріванні поверхні визначається спершу для внутрішніх шарів матеріалу конструкцій. Для цього площа поперечного перерізу по глибині розбивається на K окремих шарів товщиною Δx . Приймемо, що у межах кожного шару температура буде постійною $T_n = const$, де n - номер шару.

Температура визначається для кожного моменту часу m , при цьому загальний час нагрівання t розбивається на x інтервалів t , тобто $m=1,2,3,\dots,x-1,x$.

Температура внутрішніх шарів конструкції $T_{n,m+1}$ визначається наступним чином [5]:

$$T_{n,m+1} = xT_{n-1,m} + (1-2x)T_{n,m} + xT_{n+1,m}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$x = \frac{a\Delta t}{\Delta x^2},$$

де a – температуропровідність, $\text{см}^2/\text{с}$;

Δt - інтервал по часу, с ;

Δx - інтервал по товщині матеріалу, см ;

$T_{n,m}$ - температура n -го шару в момент часу $m\Delta t$, $^\circ\text{C}$;

$T_{n,m+1}$ - те ж у момент часу $m\Delta t+1$;

$T_{n+1,m}$ - температура $(n+1)$ -го шару в момент часу $m\Delta t$.

Температура в будь-який наступний момент часу $m\Delta t+1$ отримується з попереднього $m\Delta t$.

Температура поверхні елемента $T_{0,m+1}$ визначається за формулою [4] шляхом введенням умовного вузла при урахуванні теплообміну по товщині конструкції:

$$T_{0,m+1} = \frac{T_{0,m} + x(\eta T_{пол} + 2T_{1,m+1})}{1 + x(2 + \eta)}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

де $T_{0,m}$ - температура поверхні в деякий момент часу m_x ;

$\eta = \frac{2\alpha_2\Delta x}{\lambda}$ - коефіцієнт, який враховує теплообмін по товщині перерізу конструкції,

α_2 - коефіцієнт теплообміну між полум'ям та поверхнею;

λ - коефіцієнт теплопроводу [кал/см² с град];

$T_{пол}$ - температура полум'я, град.;

$T_{1,m+1}$ - температура першого шару в момент часу m_{x+1} .

Оскільки початкова температура конструкції відома, тобто $T_{n,0} = T_0$, то розрахунок починається з початкового моменту часу $m\Delta t$. При цьому $T_{n,m+1}$ визначається за формулою (2), а $T_{0,m+1}$ - за формулою (1), далі цикл повторюється.

Температурні поля у металевих конструкціях з товщиною $h \leq 16$ мм при дії рідких горючих речовин можуть визначатися за наближеною формулою [4, 5] з урахуванням нерівномірного розподілу горючої речовини по площі конструкції:

$$T_n = \left(\frac{K^* q \Delta \tau}{c\gamma\sqrt{at}} \right) e^{F^*}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3)$$

де $K^* = \frac{K_{nr}}{\sqrt{\pi}}$ - коефіцієнт, який враховує нерівномірність нагрівання конструкції по площі;

K_{nr} - коефіцієнт нерівномірності розподілу горючої речовини по площі конструкції;

q - поверхнева щільність теплового потоку кал/см² с;

t - час горіння речовини на поверхні конструкції, с;

$\Delta\tau$ - час стійкого підведення тепла, с; якщо час горіння речовини на поверхні конструкції знаходиться у інтервалі $0 \leq t \leq 180$ с, то час стійкого підведення тепла буде дорівнювати відповідному часу горіння, тобто $\Delta\tau=t$; якщо час горіння $t > 180$ с, то час стійкого підведення тепла $\Delta\tau=180$ с=*const*

c - питома теплоємність матеріалу [кал/г град];

γ - об'ємна вага матеріалу, г/см³;

$F' = -\left(\frac{\eta_1}{4at^2} + \xi\right) \cdot t$ - показник ступеня, який враховує теплофізич-

ні характеристики матеріалу конструкції;

$\eta_1 = x^2 / 4at^2$ - коефіцієнт, який враховує розподіл температури по товщині елемента;

x - відстань до поверхні, що нагрівається, см;

$\xi = \frac{\alpha_{em} a}{\lambda h}$ - коефіцієнт, який враховує відведення тепла від внутрі-

шньої поверхні елемента, що нагрівається;

α_{em} - коефіцієнт віддачі тепла, 1/град;

a - коефіцієнт теплопередачі, см²/с

При локальному нагріванні конструкцій товщиною $h > 16$ мм, внаслідок значного перепаду температур по їх товщині, температурні напруження визначаються для кожного окремого шару з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу конструкції за формулою:

$$\sigma_n = -\sum_{i=1}^n \alpha E S_i Y_i Q_z L W , \quad (4)$$

де α - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу конструкції, 1/град;

S_i - площа поперечного перерізу n -го ізотермічного шару, см²;

Y_i - відстань від вісі ізотермічного шару до центру ваги елемента конструкції;

E - модуль пружності матеріалу, кН/см²;

L - максимальний розмір конструкції (довжина або ширина);

W - момент опору перерізу конструкції;

$Q_z = N_1 (l_2 - l_i) \sum_{i=1}^n T_i(t) dx$ - коефіцієнт, який враховує локальний ха-

рактер нагрівання конструкції по площі,

де l_2-l_1 - ділянка нагрівання до температури T_i в даний момент часу;

N_1 – кількість шматків твердої горючої речовини, що потрапили на поверхню конструкції.

В окремих випадках, коли елементи конструкцій виконані з матеріалів із високим коефіцієнтом теплопроведення, необхідно враховувати зміни їх фізико-механічних властивостей під час нагрівання.

Температурні напруження в конструкціях залежать від умов їх обпирання і дорівнюють нулю $\sigma_n=0$ при $\alpha T_n L^* \leq 2\delta$ і більше нуля $\sigma_n > 0$ при $\alpha T_n L^* > 2\delta$, де T_n - температура нагрітих ділянок, град; L^* - сумарна довжина нагрітих ділянок, см; δ - можливе переміщення краю конструкції.

У випадку відсутності можливості вільного переміщення країв та їх защемлення температурні напруження визначаються за формулою:

$$\sigma_n = -\frac{\alpha T_{n,m} E}{1 - \mu \varphi}, \quad (5)$$

де μ - коефіцієнт Пуассона;

φ - коефіцієнт, який для стержнів дорівнює нулю, а для пластин – 1 [5].

$T_{n,m}$ – температура нагріву °С;

E – модуль пружності матеріалу конструкції, кН/см².

Температура початку появи термонапружень T_n^* може бути визначена по формулі:

$$T_n^* = \frac{2\delta}{\alpha L^*} \quad (6)$$

При виникненні стискаючих напружень у конструкціях товщиною $h < 16$ мм на ділянках, які прилягають до нагрітої зони, можлива втрата стійкості.

Визначення критичної температури $T_{кр}$, при якій трапляється втрата стійкості конструкції у випадку рівномірного прогрівання по товщині, для пластини круглої форми визначається за формулою:

$$T_{кр} = \frac{\xi^* h^2}{\alpha R_1^2}, \quad (7)$$

де ξ^* - коефіцієнт, який дорівнює 4,7 – для пластини в формі кола, яка шарнірно оперта по контуру та 9,15 – для пластини, яка защемлена по контуру [4];

R_1 - радіус пластини.

Відтак для пластини у формі чотирикутника формула визначення критичної температури може бути записана наступним чином:

$$T_{кр} = \frac{\xi^* h^2}{\alpha} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right), \quad (8)$$

де a та b – розміри прямокутної, защемленої по контуру пластини.

Висновки. Під час проектування споруд цивільної оборони необхідно враховувати всі особливості дії зовнішніх факторів надзвичайних ситуацій, зокрема можливість впливу високих температур на окремі елементи споруд. Зокрема це стосується захисних конструкцій на функціональних прорізах споруд.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.2-5-97. Будинки і споруди. Захисні споруди цивільної оборони. Держкоммістобудування України. Київ, 1998 – 119 с.
2. ДБН А.3.1-9-2000 Прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом захисних споруд цивільної оборони та їх утримання. Держкоммістобудування України. Київ, 2000 – 89 с.
3. Котляревский В.А., Ганушкин В.И., Костин А.А. и др. Убежища гражданской обороны. Конструкции и расчет. – М.: Стройиздат, 1989. – 606 с.
4. Балаганский И.А., Мержиевский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник. – Новосибирск: Издательство НГТУ. – 2004. – 408 с.
5. Адаменко М.І., Гелета О.В., Квітковський Ю.В. Фортифікаційні споруди: Навчальний посібник. – Харків: ХДТУБА. – 2003. – 560 с.