

*О.В. Васильченко, к.т.н., доцент, Національний університет цивільного захисту України,
Д.В. Максимов, курсант, Національний університет цивільного захисту України*

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗБЕРІГАННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ МЕТАЛЕВОГО КАРКАСА ПРИ ВИБУХУ

Під час проектування каркасних будівель потенційно небезпечних об'єктів та об'єктів підвищеної небезпеки враховуються протипожежні вимоги до конструкцій. Це особливо важливо для конструкцій металевого каркаса, як найменш вогнестійких. Існуючі методи розрахунку дозволяють оцінити вогнестійкість конструкцій металевого каркаса з вогнезахисним покриттям [1, 2].

Однак при аварійному вибуху конструкції можуть деформуватися, не втрачаючи суттєво несучої здатності, але це призводить до зміни жорсткості та вогнестійкості всієї системи.

Цю обставину слід враховувати під час проектування об'єктів підвищеної небезпеки, в яких обертаються чи зберігаються вибухові чи легкозаймисті речовини. Конструкції слід розраховувати таким чином, щоб при аварійному вибуху вони не тільки зберегли несучу здатність, але й витримували вплив пожежі, яка може виникнути після вибуху. Щоб надійно прогнозувати поведінку конструкцій в цьому випадку потрібно зіставити їх характеристики міцності з небезпечною кількістю речовини, що вибухає.

Тому виникає проблема вибору критеріїв для розрахунку кількості речовини, що вибухає, яка не призводить до швидкої втрати вогнестійкості конструкцій або вимог до конструкцій, що підвищують їх механічну і пожежну стійкість в умовах технологічного процесу з небезпекою аварійного вибуху.

При експлуатації деталі каркаса зазнають механічних впливів у вигляді постійного навантаження від інших деталей та конструкцій будівлі, а також тимчасових статичних та динамічних впливів від вантажів, механізмів, вітру, технологічних операцій.

Проектування промислових будівель здійснюється так, щоб напруги від цих прогнозованих впливів не викликали незворотних деформацій, що виходять за допустимі межі.

Дослідження механізмів формування напружено-деформованого стану елементів каркаса для забезпечення стійкості будівель потенційно небезпечних об'єктів та об'єктів підвищеної небезпеки проводять методом унеможливлення прогресивного обвалення несучих конструкцій [3]. Важливим доповненням цього методу є дослідження впливу пожежі на будівельні конструкції після ударних впливів [4, 5].

Завданням роботи є вироблення методики оцінки безпечної кількості вибухової речовини або легкозаймистої речовини, що не призводить при аварійному вибуху та подальшій пожежі на потенційно небезпечних об'єктах або об'єктах підвищеної небезпеки до критичного зниження вогнестійкості деформованих конструкцій металевого каркаса.

У каркасних будівлях потенційно небезпечних об'єктів та об'єктів підвищеної небезпеки каркас є системою рам, що складається з колон, кровляних конструкцій покриття та зв'язків.

При аналізі стійкості каркаса будівлі в нормальних умовах та при пожежі використовуються відомі методики [5, 6], що полягають у наступній послідовності дій:

1. Визначення для конструкцій каркаса за нормальних умов механічних та геометричних параметрів, що забезпечують несучу здатність (граничних навантажень, критичних ексцентриситетів та прогинів, що відповідають граничним навантаженням, жорсткості, частоти власних коливань).

2. Визначення критичних температур конструкцій каркаса та розрахунок меж їх вогнестійкості.

3. Оцінка механічної стійкості та вогнестійкості конструкцій каркаса на основі зіставлення розрахункових значень з нормативними.

Аварійний вибух може призвести до деформацій конструкцій каркаса різної тяжкості залежно від їхньої віддаленості від місця вибуху. Це різною мірою тягне за собою зміну геометричних параметрів конструкцій каркаса, а значить – жорсткості, частоти власних коливань та критичних температур, що робить частину конструкцій більш уразливими у разі виникнення пожежі, знижуючи їхню вогнестійкість.

При аварійному вибуху конденсованої вибухової речовини або газоповітряної суміші конструкції рам можуть зазнавати деформацій, обумовлених впливом повітряної та сейсмічної ударної хвилі.

Для того щоб оцінити кількість конденсованої вибухової речовини або газоповітряної суміші, що не призводять при вибуху та подальшій пожежі до втрати несучої здатності та критичного зниження вогнестійкості деформованої конструкції, пропонується наступна методика у вигляді послідовності дій.

1. Визначення критичних температур конструкцій каркаса, виходячи з вимог вогнестійкості.

2. Визначення коефіцієнтів зниження несучої здатності при підвищенні температури, відповідних критичним температурам конструкцій.

3. Визначення коефіцієнтів поздовжнього вигину для вертикальних елементів і прогинів для згинальних елементів.

4. Визначення параметрів ударної хвилі (надлишковий тиск, швидкісний напір, імпульс), що створюють розраховані деформації.

5. Визначення умов виникнення параметрів ударної хвилі (кількість конденсованої вибухової речовини або газоповітряної суміші), безпечних для геометрії каркаса будівлі.

Запропонована методика реалізується при відомих значеннях геометричних та механічних характеристик металевих конструкцій, таких як їх розміри, форми перерізів, навантаження, граничні опори та модулі пружності матеріалів тощо.

Критичну температуру незахищеної металевої конструкції для необхідної межі вогнестійкості, знаючи параметри її перерізу (тобто наведену товщину) можна знайти з графіка залежності температури незахищених металевих деталей від часу прогріву та їх наведеної товщини. Якщо металева конструкція має вогнезахист, її критичну температуру можна знайти за методом [1, 2].

Коефіцієнт зниження несучої здатності при підвищенні температури знаходиться таблично за розрахованою критичною температурою.

Припустивши, що при вибуху металева колона деформується і є стиснуто-вигнутим стрижнем з ексцентриситетом, можна оцінити коефіцієнти зниження напруження при позацентровому поздовжньому вигині. Також можна знайти відносний прогин згинальних елементів.

Логічно прийняти, що стійкість каркаса буде достатньою, якщо деформація найближчих до місця вибуху елементів не перевищуватиме допустиму (або, в крайньому випадку, трохи перевищуватиме).

Також якщо як критерій оцінки прийняти, що ці значення при вибуху повинні відповідати нижній межі зони сильних руйнувань, то по таблиці пошкоджень будівельних об'єктів можна оцінити величину надлишкового тиску на фронті ударної хвилі у місцях розташування найближчих до епіцентру вибуху елементів каркаса.

З цього припущення можна оцінити масу конденсованої вибухової речовини, а також масу речовини, що зберігалася в ємності при її розгерметизації та вибуху газоповітряної суміші.

На підставі запропонованого методу для забезпечення необхідної вогнестійкості можна, враховуючи особливості технологічного процесу, розрахувати параметри вертикальних і кроквяних конструкцій металевих каркасів промислової будівлі, що відноситься до потенційно небезпечних об'єктів або об'єктів підвищеної небезпеки.

З іншого боку, можна сформулювати вимоги до технологічного процесу, в якому обертаються вибухові речовини та легкозаймисті речовини, якщо технологічний процес планується розміщувати в існуючій будівлі з металевим каркасом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Otrosh Y., Kovalov A., Semkiv O., Rudeshko I., Diven V. Methodology remaining lifetime determination of the building structures // MATEC Web of Conferences, 2018, 230, 02023. URL : <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002023>.
2. Vasilchenko A., Otrosh Y., Adamenko N., Doronin E., Kovalov A. Feature of fire resistance calculation of steel structures with intumescent coating // MATEC Web of Conferences, 2018, 230, 02036. URL : <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002036>.
3. Brian I. Song, Halil Sezen. Experimental and analytical progressive collapse assessment of a steel frame building // *Engineering Structures*. 2013. Vol. 56. P. 664–672.
4. Roytman V.V., Pasman H.J., Lukashovich I.E. The Concept of Evaluation of Building Resistance against combined hazardous Effects «Impact-Explosion-Fire» after Aircraft Crash // *Fire and Explosion Hazards: Proceedings of the Fourth International Seminar*. 2003. Londonderry, NI, UK. P. 283–293.
5. Vasilchenko A., Doronin E., Ivanov B., Konoval V. Effect of residual deformation of a steel column on its fire resistance under combined exposure "explosion-fire" // *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 968. P.288–293.
6. Shnal T., Pozdieiev S., Nuianzin O., Sidnei S. Improvement of the Assessment Method for Fire Resistance of Steel Structures in the Temperature Regime of Fire under Realistic Conditions // *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 1006. P. 107–116.

O.V. Vasilchenko, Ph.D, associate professor, National University of Civil Defence of Ukraine,

D.V. Maksimov, cadet, National University of Civil Defence of Ukraine

Assessment of the possibility of preserving the fire resistance of a metal frame in an explosion

A method for assessing the safe amount of an explosive or a flammable substance that does not lead to a critical decrease in the fire resistance of deformed metal frame structures in an emergency explosion and subsequent fire is proposed. A feature of the method is assessment of the resistance of structures of the metal frame closest to the epicenter of the explosion by parameters of the shock wave corresponding to the lower boundary of the zone of severe destructions, and the adoption for them of the values of the stress reduction coefficient for eccentric lateral deflection (for vertical structures) and relative deflections (for bending structures) close to the limit. This allows: to estimate the safe amount of an explosive or flammable substance in the technological process; check the compliance of parameters of the structures of metal frame of an industrial building with the requirements for maintaining fire resistance in an emergency explosion; justify the required reinforcement of the frame structures if the amount of explosive or flammable substance in the technological process exceeds the calculated one.