

Проблеми планування чисельного експерименту із дослідження розповсюдження вибухової хвилі по огороджуючих конструкціях промислових будівель

Розкрито послідовність запланованих досліджень впливів на несучі та огороджуючі конструкції промислових будівель та споруд, що виникають під дією вибухової хвилі. Виділені основні проблеми та етапи проведення чисельного експерименту.

Планування чисельного експерименту

Врахування в роботі несучих і огороджуючих конструкцій будівель та споруд аварійних навантажень довгий час відносилось виключно до складних техногенних та технологічних умов експлуатації об'єктів будівництва. На жаль збройна агресія проти нашої країни визначила дану складову проектування як один із етапів, що впливає на весь життєвий цикл будівлі. Особливо це актуально для споруд цивільного захисту населення та об'єктів, що стали цілями для ракетних та дронівих атак по всій території України: будинків із масовим перебуванням людей, лікарень, дитячих закладів освіти, стратегічних виробничих будівель та споруд, об'єктів критичної інфраструктури. Додатковим ускладнюючим фактором є незначна кількість нового будівництва подібних об'єктів. Переважаюча кількість проектних впливів здійснюється на етапі реконструкції.

Всі зазначені об'єкти поєднує одне – відсутність чіткої методики збору навантажень від впливів вражаючих факторів вибухової хвилі; відсутність чіткої моделі роботи конструкцій під динамічними впливами високої інтенсивності; відсутність відповідного нормативного забезпечення; застарілий підхід із представлення даного впливу у вигляді квазістатичного навантаження по всій поверхні об'єкта проектування.

У проведених дослідженнях розпочато виконання наукового пошуку по 3 основним напрямкам:

- аналіз та адаптація математичної моделі прикладання навантажень, що основана на методах UFC 3-340-02 STRUCTURES TO RESIST THE EFFECTS OF ACCIDENTAL EXPLOSIONS;

- отримання перевіірочних додаткових значень для моделей на основі IATG-01.80- Formulae-for-Ammunition-Management реалізованих в сервісі UN SaferGuard The Kingery-Bulmash Blast Parameter Calculator;

- аналіз та співставлення запропонованих методик із методами чисельного моделювання у комплексі Autodyn Ansys.

Аналіз математичної моделі прикладання навантажень, що основана на методах UFC 3-340-02 показав, що за даною методикою можливо виконувати виключно перевіірочні розрахунки у обраних точках. Отримання даних із

наведених графіків можливо виключно у ручному режимі, що значно збільшує тривалість розрахунків, допускає помилки внаслідок суб'єктивної оцінки значень.



Рис. 1. Пошкодження об'єктів громадської та цивільної інфраструктури у Полтавській області (ТЦ «Амстор» м. Кременчук, Інститут зв'язку, м. Полтава, Кременчуцька ТЕЦ, Завод дорожніх машин, м. Кременчук)

Запропонована методика ґрунтується на апроксимація кубічним сплайном окреслених емпіричних даних UFC 3-340-02 та їх представлення у вигляді запропонованої універсальної логарифмічної функції MAKHI-BLAST.

Попередні розрахунки вказують на добре співпадіння отриманих результатів із відхиленням не більше 3-5% від графічних значень ручного розрахунку. З метою додаткової перевірки заплановано використати для окремих точок у пласкій постановці іншого із найбільш розповсюджених методів – калькулятора Кінґері Булмаша.

Незважаючи на проведені адаптації та отриману математичну модель розрахунку навантаження для обраних точок оцінити ними розподіл вибухової хвилі по всій поверхні будівлі – надзвичайно трудомістко і складно. Застосовність отриманих даних у вітчизняних програмних комплексах потребує значного осмислення та верифікації.

Основною метою проведених розрахунків у даній частині досліджень є створення базису для інженерної методики розрахунку навантажень та виконання розрахунків, що дозволять перевірити точність моделювання будівель різних типорозмірів у подальшій роботі.

У другій частині даного етапу було проведено вибір розрахункових моделей та типорозмірів будівель, а також точок прикладання навантажень.

Зважаючи на методику верифікації отриманих значень на даному етапі чисельного експерименту було обрано моделювання у 2D постановці.

Розміри запропонованих моделей будинків обирались виходячи із оцінки масштабів пошкодження будівель та споруд, що постраждали внаслідок збройної агресії на основі публікацій у ЗМІ та ґрунтуючись на власному досвіді обстеження, оцінки технічного стану та розрахунків. Зважаючи на застосованість даної методики не тільки для промислових будівель та споруд, а також для об'єктів громадської і житлової інфраструктури для модельних будівель було обрано наступні типорозміри:

- 18x18м, що моделює незначні виробничі та громадські будинки;
- 18x60м, пристосовану для окремостоячих промислових цехів та житлової багатоквартирної забудови;
- 60x60м, форму яких обрано із точки зору зблокованих виробничих дільниць великого виробництва та громадських будівель.

Кожну розрахункову модель заплановано змоделювати із почерговим прикладанням вибухового навантаження у 3 точках ініціації вибухової речовини – по середині короткого фасаду будівлі, по середині довгої сторони будівлі, на куті будівлі. Запланована відстань від точки вибуху до стін будівлі складає 15м. Для квадратних у плані моделей по іншому фасаду відстань буде збільшено до 30м.

Точки збору інформації про прикладений та відбитий тиски, час настання пікового навантаження, завершення позитивної фази, час негативної фази і т.п. показники будуть задані кожні 3м вздовж всіх фасадів будівлі.

В якості вибухової речовини буде обрано 800 кг тротилового еквіваленту. Форма вибухового пристрою максимально наближена до засобів ураження – циліндрична.

Значення 15м та 800кг тротилового еквіваленту обрані відповідно до закладених передумов у положення ДБН В.2.2-5:2023 Захисні споруди цивільного захисту для можливості максимально швидкої адаптації у вітчизняних нормативних документах.

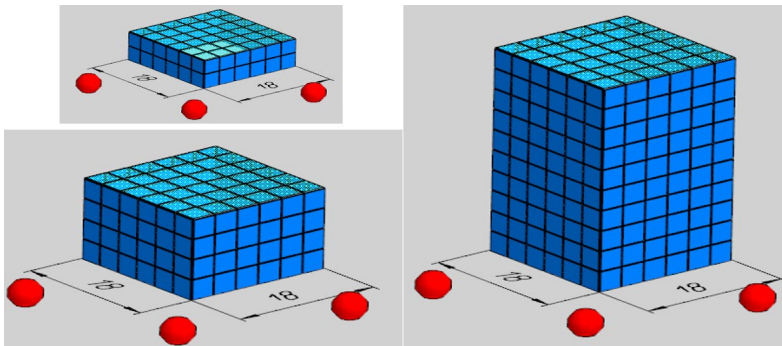


Рис. 2. Типові будівлі із розмірами в плані 18x18м (висотою 6, 12, 30м)

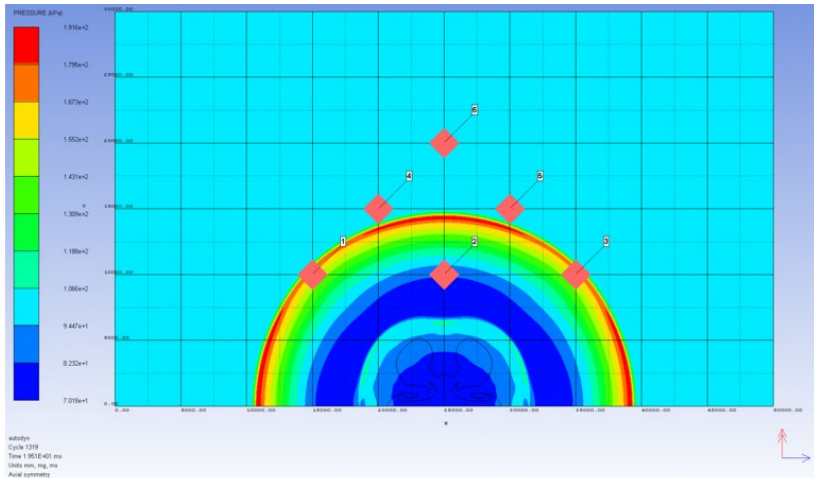


Рис. 3. Розрахунки сферичного вибуху із отриманням розподілу надмірного тиску вибухової хвилі у розрахункових точках

По результатам отриманим у даній частині досліджень будуть прийняті рекомендації, щодо застосовності методу чисельного моделювання у подальших дослідженнях та набір крайових умов – основних гіпотез та початкових передумов для даного розрахунку.

З метою додаткової та основної верифікації отриманих даних заплановано перевірку отриманих даних на основі наступних розрахункових сценаріїв:

1) моделювання та співставлення даних отриманих:

- в програмному комплексі згідно адаптованої методики UFC 3-340-02 із використанням функції MAKHI-BLAST;
- змодельованих у тривимірній постановці у комплексі Autodyn Ansys;
- отриманих в ході натурального експерименту (наприклад – випробування моделі укриття об'єкту критичної інфраструктури проведеного представниками Генерального штабу ЗСУ та департаменту відновлення.

2) моделювання у Autodyn Ansys із наступним розрахунком переміщень сталевого каркасу у вітчизняному розрахунковому комплексі SCAD Soft та співставлення даних, отриманих в ході натурної зйомки об'єкта пошкодженого в ході ракетного удару (м. Вишневе).

Отримані результати попередніх досліджень дозволять використовувати їх у 3 видах розрахунку.

1. Перевірочні розрахунки параметрів впливу надмірного тиску у обраній точці будівлі – для виконання оцінки технічного стану чи пошуку максимального значення зусиль згідно прогнозованого вибуху (відомій точці повітряного, приземного чи наземного вибухів). Для даної постановки буде запропоновано використання адаптованої методики UFC 3-340-02 із

використанням функції MAKHI-BLAST. За необхідності по результатам співставлення із експериментальними даними та чисельним моделюванням будуть запропоновані відповідні коефіцієнти запасу (уточнення).

2. Методика та практичні вказівки для проведення прямого моделювання унікальних (наприклад, складних у плані будівель, споруд із виступаючими частинами) будівель та споруд у комплексі Autodyn Ansys із застосуванням отриманих даних в ході розробки проектної документації та їх експертизи.

3. Інженерна методика збору навантажень на промислові будівлі та споруди у вигляді набору квазістатичних навантажень для різних фрагментів будівлі, перемінних у часі із параметром здвигу у часі прикладання. Дана методика буде являти собою апроксимацію отриманих у попередньому розділі досліджень із врахуванням відповідних поправочних коефіцієнтів.

Список літератури

1. Robert Laszlo. Passive blast protection of buildings by ductile steel-based envelopes - National Institute for Research and Development in Mine Safety and Protection to Explosion. – MATEC Web of Conferences, 2024. – 389 p.

2. Fan Yi. Modeling the blast load induced by a close-in explosion considering cylindrical charge parameters. - Article in Defence Technology, 2022. – 115 p.