

Аналіз впливу дії ударної хвилі на будівлі і споруди

Кирило Мартиновський, студент¹ (ORCID: 0009-0000-9065-614X), Віталій Плоский, д.т.н., проф.¹ (ORCID: 0000-0002-2632-8085), Сергій Михальченко, доцент.¹ (ORCID: 0000-0003-2399-4119), Володимир Скочко, д.т.н., проф.¹ (ORCID: 0000-0002-1709-2621)

¹Київський національний університет будівництва архітектури, просп. Повітряних Сил, 31, м. Київ, 03037, Україна

АНОТАЦІЯ

У статті розглядаються фізичні механізми впливу ударної хвилі на будівлі та споруди. Проведено аналіз руйнівних ефектів, що виникають внаслідок вибухів або інших джерел, що створюють ударні хвилі. Результати досліджень можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо проектування будівель, підвищення їх стійкості до вибухових навантажень та мінімізації наслідків руйнувань.

Ключові слова: будівельні конструкції, ударна хвиля, огорожувачі конструкції

1. ВСТУП

У зв'язку з інтенсивними бойовими діями на території нашої країни щоденно зростає кількість будівель та інженерних споруд, що піддаються впливу вибухових хвиль. Дослідження стійкості та безпеки несучих конструкцій в таких умовах є ключовим завданням, особливо для об'єктів критичної інфраструктури, цивільного захисту і тд.

В даній роботі проаналізовано можливості мінімізації руйнівного впливу ударної хвилі на будівлі та споруди шляхом управління формою огорожувальних конструкцій.

2. СНОВНА ЧАСТИНА

Одним із ключових факторів ураження під час вибуху є ударна хвиля. Вона представляє собою зону стисненого повітря, яка поширюється у всі напрямки від епіцентру вибуху зі швидкістю, що перевищує швидкість звуку, та здатна руйнувати усе навколо. Вплив ударної хвилі на будівельні конструкції супроводжується комплексом наступних навантажень: прямий тиск, відбите навантаження, тиск обтікання, тиск затікання та сейсмодинамічне навантаження [1-3].

Згідно з будівельними нормами, окремі типи будівель і споруд (в тому числі, такі як сховища, протирадіаційні укриття та споруди подвійного призначення) проектуються з урахуванням впливу повітряної ударної хвилі на їх конструкції. Для спрощення розрахунків деякі норми пропонують оцінювати огорожувальні та несучі конструкції захисних споруд на основі спеціального поєднання навантажень, яке включає постійні, тимчасові та еквівалентне статичне навантаження, що відповідає динамічному впливу ударної хвилі [4-5].

Також у нормах [4] дозволяється використовувати прямий динамічний аналіз несучих конструкцій будівель і споруд для оцінки динамічного впливу повітряної ударної хвилі, що призводить до значного прискорення процесу моделювання компонентів напружено-деформованого стану конструктивних елементів.

Характеристики ударної хвилі, що є необхідними для подальших обчислень, визначаються на основі розгляду профілю повітряної ударної хвилі. Зокрема на рисунку 1 схематично проілюстровано принциповий характер графіку зміни тиску після вибуху з плином часу в деякій досліджуваній точці простору [6].

Тут: P_r та P_{so} – значення максимальних показників надмірного тиску, що можуть бути досягнуті після вибуху;

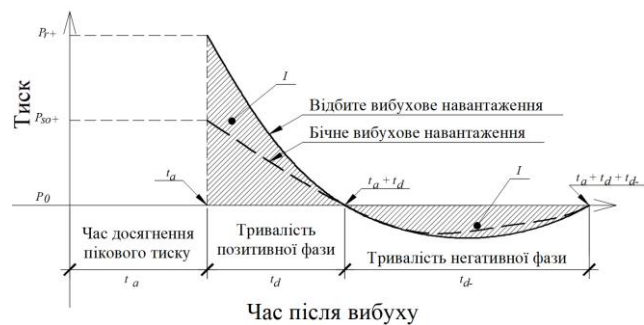


Рисунок 1. Принциповий графік зміни характеру тиску вибухової хвилі в часі з моменту вибуху й до затухання

t_a – прогнозований час, протягом якого буде досягнуто пікової величини тиску (фактично, даний параметр представляє собою часовий інтервал від початку дії вибухової хвилі на конструкції й до моменту досягнення максимального значення тиску цієї хвилі); t_d – тривалість позитивної фази розповсюдження вибухової хвилі (що відповідає часу, протягом якого вибухова хвиля чинить додатний тиск на конструктивні елементи огорожувальних конструкцій) – це часовий інтервал від моменту досягнення пікового тиску до повернення тиску до атмосферного рівня; I – так званий позитивний імпульс або сумарна кількість енергії, що передається вибуховою хвилею на одиницю площі протягом часу збереження позитивної фази, та яка може бути обчислена, як інтеграл по часу від функції кривої тиску в діапазоні тривалості позитивної фази (тобто доти, доки тиск ударної хвилі досі перевищує значення атмосферного тиску); t_d' – тривалість негативної фази розповсюдження вибухової хвилі (або так звана зона розрідження повітря), що представляє собою часовий проміжок, у якому тиск спричинений ударною хвилею тримається на позначках, що є нижчими від значення атмосферного тиску після проходження моменту пікового початкового навантаження (негативний імпульс вибухової хвилі визначається шляхом інтегрування функції графіка зміни вибухової хвилі по часу в межах її негативної фази дії на досліджувані конструкції).

Також на продемонстрованому графіку зміни впливу вибухової хвилі зображені дві криві: 1) суцільна лінія ілюструє відбите вибухове навантаження, 2) пунктирна лінія – бічне вибухове навантаження. Бічне вибухове навантаження, позначене індексом so та відповідає тиску, створеному вибуховою хвилею в умовах відкритого простору без урахування зміни його величини внаслідок

зіткнення із перешкодами. Цей компонент навантаження чинить вплив на поверхні, що розміщені у напрямку, паралельному по відношенню до напрямку руху повітряної ударної хвилі. По таких поверхнях повітряна хвиля проходить без затримки на їх обтікання й до них можна віднести бічні стіни і покриття.

Коли вибухова хвиля вдаряється у похилу поверхню, що не є паралельною, виникає відбите вибухове навантаження, (воно позначене індексом r на рисунку 1). Прикладом такої ситуації може бути будь-яка поверхня, перпендикулярна до напрямку вибухової хвилі, наприклад, фасадна стіна будівлі. Відбиваючі поверхні будинків у таких випадках збільшують тиск і, відповідно, імпульс. Очевидно, що тиск у цьому випадку буде значно вищим порівняно з проходженням хвилі вздовж поверхні, що є паралельною до неї. На рисунку 2 проілюстровано принцип визначення кута падіння з урахуванням початкового напрямку вибухової хвилі та її відбиття по відношенню до нормалі, проведеної від досліджуваної поверхні.

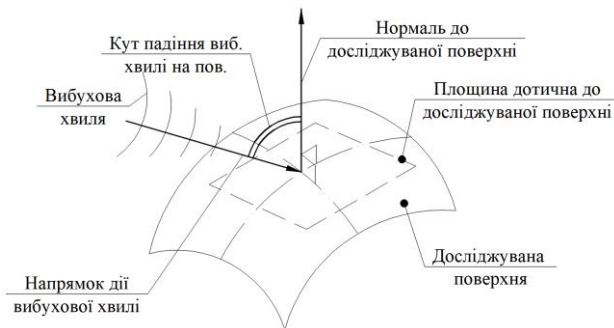


Рисунок 2. Визначення куту падіння вибухової хвилі на досліджувану поверхню

Таким чином можна зробити висновок, що чим ближчий кут падіння вибухової хвилі на поверхню огорожувачих конструкцій до 90° ($\pi/2$ rad), тим меншим є руйнівний вплив цієї хвилі. Це означає, що при проектуванні захисних конструкцій слід обирати таку їх форму, по поверхні якої ударна хвиля з високою ймовірністю прохідиме по дотичній (або близько до цього). Як приклад можна привести розроблені укриття для цивільного населення та військових (див. рис. 3, та рис. 4). Дні укриття мають сферичну форму або іншу криволінійну форми, які вбачають мінімізацію впливу на них дії ударної повітряної хвилі.

Загалом, аналіз характеру розповсюдження ударних хвиль з найбільш вірогідних напрямків ураження відкриває широкі перспективи моделювання нових форм огорожувальних конструкцій, оптимальних з точки зору мінімізації впливу на них відповідних ударних хвиль. Окрім того, бажано, щоб додатковою цільовою фікцією у онові процесу формування була також матеріалосність майбутнього будівництва. Для мінімізації витрат матеріалів доцільно застосовувати такі алгоритми та підходи, при яких у сформованих конструкціях не виникатимуть або будуть мінімізовані значення згинальних та крутних моментів.

3. ВИСНОВКИ

В подальших дослідженнях доцільно приділити увагу розробці методологічних основ та відповідних інструментів моделювання оптимальних форм огорожувальних конструкцій будівель та споруд цивільного, промислового та оборонного призначення, застосовуючи інструменти дискретної прикладної геометрії, елементи теорії

параметризації та теорії поля. При цьому формування конструкцій має супроводжуватися раціоналізацією витрат усіх будівельних матеріалів та виробів з метою досягнення високих економічних показників, що є вкрай важливим під час військового стану.



Рисунок 3. Швидкостроюване модульне укриття до 70 осіб компанії БУНКЕР ЮА



Рисунок 4. Укриття для цивільного населення. Ізраїль.

Список літератури

- [1] Левчук К. О., Романюк Р. Я., Толоч А. О. Цивільний захист: навч. посіб. / К. О. Левчук, Р. Я. Романюк, А. О. Толоч — «ДДТУ», 2016 — 325 с.
- [2] Євдін О. М., Могильниченко В. В., Скидан М. А. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т. 1. "Техногенна та природна небезпека" / О. М. Євдін, В. В. Могильниченко, М. А. Скидан [та ін.]. — К. : КІМ, 2007. — 636 с
- [3] ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. — Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. — 39с.
- [4] ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту — [Введений у дію з 01-11- 2023].— К.: Мінрегіон України, 2023. — 112 с.
- [5] European Standard EN 1991-1-7 (Єврокод 1 "Дія на конструкції. Частина 1-7: Зовнішні впливи. Вибухи")
- [6] Марина Ромашкіна, Богдан Пісаревський, Олексій Журавльов – "Розрахунок будівлі на вплив дії повітряної ударної хвилі прямим динамічним методом з використанням ПК ЛІРА-САПР", 2024. — 14с.
- [7] Максименко, В., Барабаш, М., Костира, Н., Бармен, І. Моделювання динамічних навантажень вибухового типу в задачах дослідження міцності будівельних конструкцій з використанням ПК ЛІРА-САПР (2024). // Наука та будівництво, 38(4). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-3>