

ВПЛИВ ПОВІТРЯНИХ УДАРНИХ ХВИЛЬ НА ЗОВНІШНЄ ОГОРОДЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В даній роботі розглянуто питання зниження вибухових навантажень на будівлі і споруди за допомогою пористих екранів. В даний час все більш актуальними стають завдання, вирішення яких пов'язане з описом поведінки захисних бар'єрів під впливом вибухових навантажень. Експериментально встановлено, що найбільшу ефективність зниження ударного навантаження мають газопроникні бар'єри або екрани. При проходженні ударної хвилі через шари газопроникного екрану тиск на його передній частині знижується і змінюється хвильовий профіль.

Ключові слова: вибух, вибухова хвиля, тиск, захисний бар'єр, стінове огородження, ефективні утеплювачі, пористі шари, звукоізоляція, звукопоглинання.

Abstracts

In this work, the issue of reducing explosive loads on buildings and structures with the help of porous screens is considered. Currently, the tasks, the solution of which is related to the description of the behavior of protective barriers under the influence of explosive loads, are becoming more and more relevant. It has been experimentally established that gas-permeable barriers or screens have the greatest effectiveness in reducing shock loads. When the shock wave passes through the layers of the gas-permeable screen, the pressure on its front part decreases and the wave profile changes.

Keywords: explosion, blast wave, pressure, protective barrier, wall enclosure, effective insulation, porous layers, sound insulation, sound absorption.

Вступ

Небезпеки, що виникають при військових конфліктах або як наслідок цих конфліктів мають великі впливи на об'єкти, навколишнє середовище своїми вражаючими факторами,

Звичайна зброя, яка заснована на використанні енергії звичайних вибухових речовин (тротил, гексоген, порох) і запальних сумішей, якими оснащуються боєприпаси: артилерійські, ракетні, авіаційні, морські, стрілецькі та інженерні.

Велику частку займають фугасні боєприпаси, призначені для ураження живої сили противника, техніки і знищення всіляких споруд (промислових, адміністративних і житлових будівель, залізничних вузлів, мостів, залізниць і автомагістралей і т. д.).

Основним вражаючим фактором є повітряна ударна хвиля, що виникає при вибуху звичайної вибухової речовини. Найбільше застосування зустрічається в фугасних авіаційних бомбах. Від ударної хвилі і осколків фугасних і осколково-фугасних боєприпасів ефективно захищають укриття та будівлі різних типів.

Пропонується розглянути захисні властивості зовнішнього огородження стін, покритих пористими шарами, в якості яких можна розглядати сучасні конструкції утеплення.

Теоретичні дослідження

Вибух - це результат швидкого розширення газів, яке відбувається від фізичної або механічної зміни матеріалу. Явище триває протягом мілісекунд, за цей час енергія викидається в навколишнє повітря, утворюючи щільну область високого тиску. Ця область швидко розширюється, стискаючи і прискорюючи повітря навкруги. Зовні рухається ударний фронт формується, що характеризується майже переривчастим підвищенням тиску і щільності. Ця хвиля містить значну частину енергії, що виділяється детонацією, і рухається швидше, ніж швидкість звуку. Оскільки вибухова хвиля (ВХ) поширюється від джерела детонації, повітря, що слідує за ударним фронтом, надмірно розширюється. Потім відбувається охолодження і скорочення, знижуючи тиск нижче атмосферного, перш ніж в кінцевому підсумку повернутися до навколишніх умов.

Вибухова хвиля визначається двома різними фазами: позитивна фаза настає від початку хвилі, коли

тиск p вище тиску навколишнього середовища p_0 . На рисунку 1 представлена історія тиску ідеалізованої вибухової хвилі як функції часу.

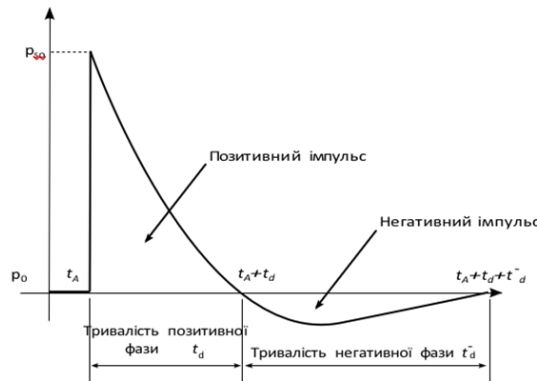


Рис. 1. Типова історія тиску вибухової хвилі та часу $p(t)$

Спочатку тиск дорівнює тиску навколишнього середовища p_0 . Під час прибуття до перешкоди t_A тиск збільшується майже миттєво до піку бокового надлишкового тиску $p(t_A)$

$$p_{so} = p(t_A) - p_0. \quad (1)$$

Піковий тиск знижується з віддаленням від детонації і обернено з розміром заряду.

Після досягнення свого пікового значення тиск знижується до досягнення тиску навколишнього середовища в момент часу $t_A + t_d$, позначаючи кінець позитивної фази. Потім починається негативна фаза, під час якої тиск падає нижче p_0 , перш ніж в кінцевому підсумку повернутися в навколишнє середовище в момент часу $t_A + t_d + t_d^-$. Тривалість негативної фази t_d^- .

Перешкоди, які стоять на шляху вибухової хвилі, відчувають різні сили протягом кожної з двох фаз. Позитивна фаза має найбільшу силу, в напрямку руху вибухової хвилі. На негативну фазу припадає сила всмоктування, що діє в зворотному напрямку. Це є причиною того, що фрагменти вікон часто зустрічаються на вулиці після вибухового впливу на будівлі. Негативна фаза вибухової хвилі рідко враховується при оцінках вибухового навантаження будівель, оскільки основні структурні пошкодження пов'язані з позитивною фазою, що містить найвищі тиски.

Коли висота вибуху над землею досить велика, вибухові хвилі сферично поширюються назовні, досягаючи будівлі чи споруди до будь-якої взаємодії з землею. Це явище відоме як вільний повітряний вибух (рис. 2). На менших висотах вибухова хвиля здатна взаємодіяти з землею, відбиваючи і утворюючи вторинну ударну хвилю, яка рухається позаду першої.

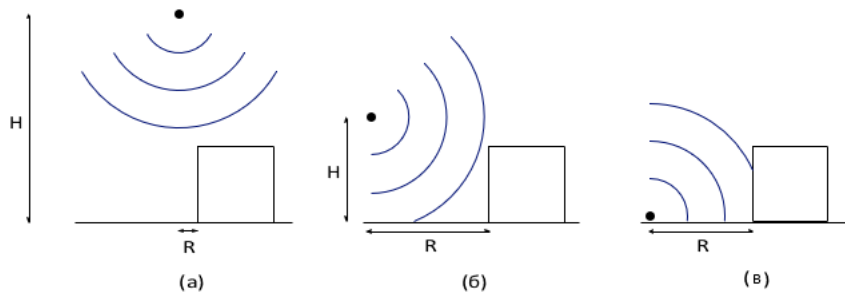


Рис. 2. Види зовнішніх вибухів: (а) вільний повітряний вибух, (б) вибух над землею, (в) поверхневий вибух

Відбита хвиля проходить через нагріте, стиснене повітря швидше, ніж падаюча хвиля. Зрештою вторинна хвиля наздоганяє першу, зливаючись і утворюючи стовбур Маха.

На рисунку 3 показаний цей процес схематично, де падаючі і відбиті хвилі позначаються I і R відповідно. Коли кут падіння α_1 досягає критичного кута ($\alpha_c = 40^\circ$ [1]), починає формуватися стовбур Маха M. Це явище представляє особливий інтерес при вивченні вибухового навантаження конструкцій, оскільки піковий тиск і імпульс стовбура Маха можуть бути значно вище падаючого значення.

Коли заряд розташовується на землі, вибухові хвилі відразу відбиваються і поширюються напівсферично назовні, перш ніж вплинути на конструкцію. Поверхневі сплески можна змоделювати

як вільноповітряний сплеск з подвоєною масою заряду, оскільки земля діє як площина симетрії. В реальності ґрунт поглинає частину падаючих хвиль і замість нього використовується коефіцієнт 1,8 [2].

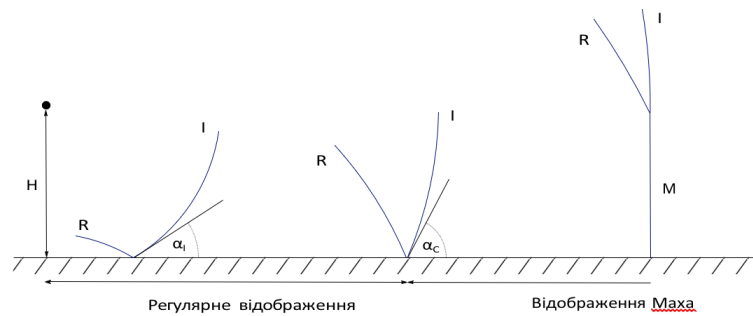


Рис. 3. Утворення стовбура Маха внаслідок повітряного вибуху

Коли вибухова хвиля рухається назовні, вона охоплює кожен об'єкт, який лежить на її шляху. Об'єкти, що піддаються найбільшому ризику, зазвичай включають людей і споруди, при цьому ризик смертності або пошкодження будівлі зростає з силою вибухової хвилі. На відміну від безперешкодних вільних повітряних вибухів, сила хвилі при утрудненому вибуху - це не просто функція масштабованої відстані. Об'єкти, які взаємодіють з вибуховими хвилями, можуть глибоко змінювати свою стійкість за допомогою ряду явищ вибухового навантаження, які ми розглянемо нижче.

Одним з ефективних засобів захисту від наслідків вибуху стане спорудження захисного бар'єру на шляху ударної хвилі. Необхідність енергозбереження привела до використання зовнішнього утеплення стінового огороження з використанням ефективних утеплювачів, які успішно виконують функцію теплоізоляції, звукоізоляції і можуть активно захистити огорожуючу конструкцію від дії вибухової хвилі (рис.4). Вивчення впливу повітряних ударних хвиль на бар'єри, покриті пористим шаром, представляє значний науковий і практичний інтерес.

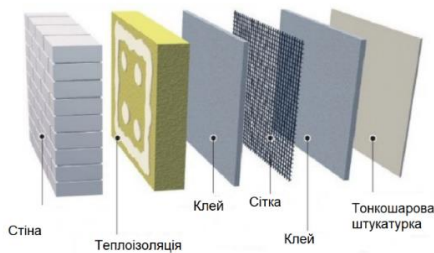


Рис. 4. Конструкція зовнішньої стіни

При проходженні через конструкцію утеплення енергія вибухової хвилі перетворюється в енергію пружно-пластичної деформації і, таким чином, після проходження вибухової хвилі через захисну конструкцію тиск на її фронті знижується. Іншими словами, пластичні деформації кожного екрану забезпечують достатню ударну в'язкість, щоб поглинути енергію вибуху.

За рахунок демпфуючих властивостей поглинаючого матеріалу в шарах конструкції утеплення послаблюється амплітуда тиску, з огляду на що значно знижується ударне навантаження на конструкцію стіни, в сукупності двох факторів забезпечується стійкість будівлі і, як наслідок, забезпечується безпека людей.

Досвідом попередніх досліджень встановлено, що при дослідженні звукових хвиль, що наздоганяють ВХ разом з ентропійними і вихровими збуреннями, спостерігається ефект посилення ВХ за рахунок відносно слабких звукових хвиль [3]. У роботі [4] експериментально встановлено, що поблизу критичного кута падіння амплітуда ВХ-коливань під дією акустичних збурень досягає максимальних значень. Наведені вище твердження і загальновідомі положення про зменшення амплітуди ВХ на відстанях і переході її на слабкий (звуковий) сигнал [5] підкреслюють доцільність використання методів поглинання енергії, що застосовуються в технічній акустиці на зовнішніх стінках будівель. Далі ми докладніше розглянемо енергопоглинаючі властивості теплоізолюючих вставок.

Лабораторні дослідження

В рамках робіт з розробки моделі комбінованого шумозаглушувача експериментально були досліджені властивості різних типів теплоізолюючих вставок.

Дослідження проводилися на експериментальному об'єкті, що генерує штучний шум (білий шум) в широкому діапазоні частот. Образ і схема установки показані на рисунку 5.

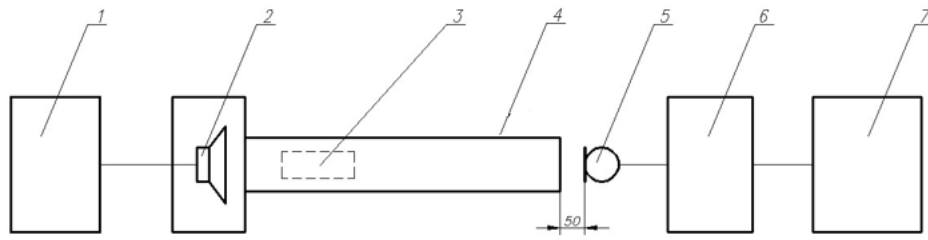


Рис. 5. Схема експериментальної установки
 1 – генератор білого шуму; 2 – гучномовець; 3 – вставка теплоізолююча; 4 – звуковий канал;
 5 – мікрофон; 6 – підсилювач мікрофона; 7 – осцилограф.



Рис. 6. Фото стенду експериментальної установки

Експериментальним шляхом були протестовані вставки 3-х типів, що відрізняються розмірами і звукопоглинаючим матеріалом. Звукопоглинаючий матеріал розглядався виходячи зі значень коефіцієнта звукопоглинання α . Ефективність звукопоглинання тим більше, чим ближче значення звукопоглинання до одиниці.

На рисунку 7 представлені матеріали наступних зразків: 1 – базальтова вата; 2 – поролон; 3 – пінопласт.

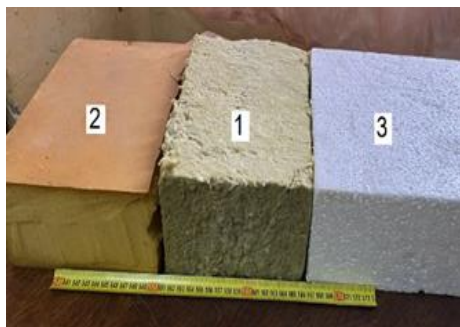


Рис. 7 – Досліджувані матеріали

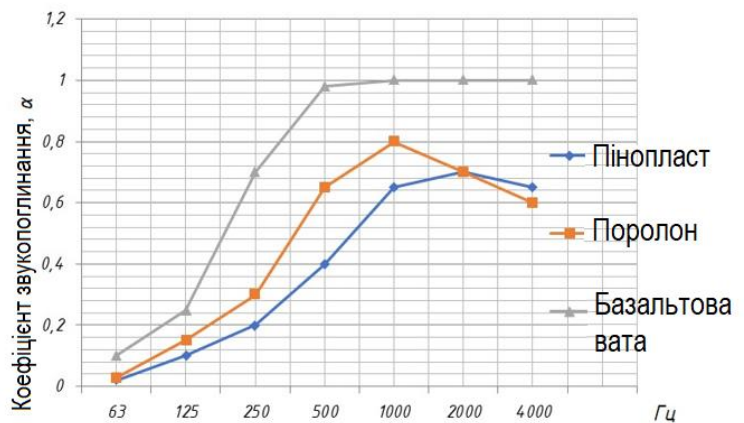


Рис. 8. Коефіцієнт поглинання α в октавних смугах із середніми геометричними частотами

Результати експерименту з вивчення ефективності звукоізолюючих вставок з пінопласту, поролону і базальтового волокна наведені нижче (рисунок 9).

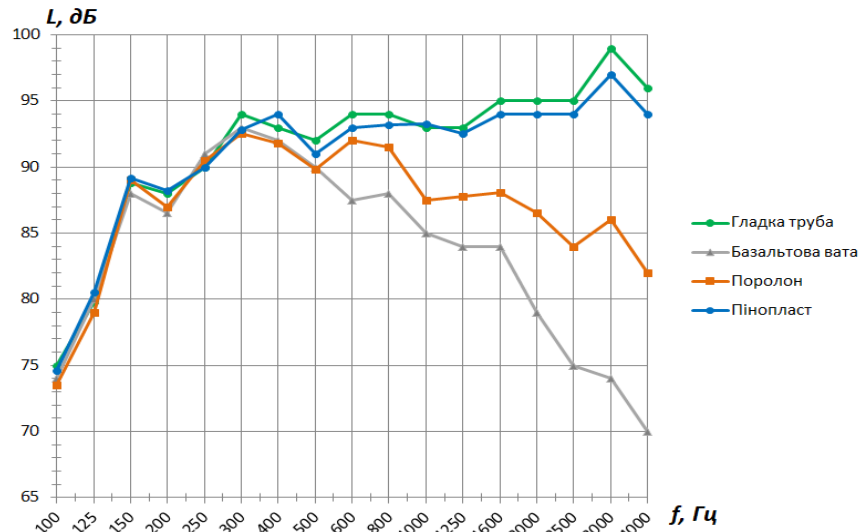


Рис. 9. Дослідження ефективності матеріалів

Були визначені значення звукового тиску в каналі зі вставками звукопоглинального матеріалу по всьому розглянутому частотному діапазону. Результати експерименту показують, що на низьких і близьких до середніх частотах ефективність вставок з поролону і базальтового волокна практично однакова. Однак на середніх і високих частотах введення базальтового волокна має найбільшу ефективність, а значить, і кращі властивості в розсіюванні енергії. Пінопластова вставка більше відбиває енергію.

Висновки

Експериментально, за допомогою фізичного моделювання було проведено дослідження властивостей матеріалів, здатних перетворювати енергію звукової хвилі в теплову енергію в результаті тертя частинок повітря об поверхню пористого матеріалу. Вставка базальтового волокна володіє кращими дисипаційними властивостями щодо пінопласту на 22%, коефіцієнт поглинання щодо поролону - 0,77. Такі результати підтверджують доцільність використання базальтоволокнистих вставок в конструкції для зменшення впливу ударної хвилі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. J. Shin, Air-Blast Effects on Civil Structures. PhD thesis, State University of New York at Buffalo, 2014.
2. W. Baker, Explosion hazards and evaluation. Elsevier, 2012.
3. A. Remennikov and T. Rose, "Modelling blast loads on buildings in complex city geometries," Computers and Structures, vol. 83, no. 27, pp. 2197–2205, 2005.
4. McKenzie J. F., Westphal K. O. Interaction of linear waves with oblique shock waves. Phys. Fluids. 1968. V. 11, p. 2350 — 2362.
5. Наугольных К.А. О переходе ударной волны в акустическую. Акустический журнал. 1972. т.8. № 4. С. 579-583.
6. Гельфанд Б.Е., Медведев С.П., Поленов А.Н. и др. О влиянии пористого сжимаемого покрытия на характер ударно-волнового нагружения конструкций. Журн. техн. физики. 1987. Т. 57, вып. 4. С. 831–833.

Денисюк Михайло Миколайович — студент групи Б-21мз, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Misha.denysyuk@me.com

Науковий керівник: **Микола Миколайович Попович** — доцент кафедри "Будівництва, міського господарства та архітектури". Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: popovychnick@gmail.com

Mykhailo Denisyuk - student of group B-21mz, faculty of construction, civil and ecological engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Misha.denysyuk@me.com

Supervisor: **Mykola Popovych** — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Construction, Urban and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, e-mail: popovychnick@gmail.com