

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ВПЛИВ ПОВІТРЯНИХ УДАРНИХ ХВИЛЬ НА ОГОРОДЖЕННЯ,  
ПОКРИТЕ ПОРИСТИМИ ШАРАМИ»

Виконав: студент 2 курсу, групи Б-21м  
спеціальності

192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Денисюк М.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент

(вчений ступінь, посада)

Попович М.М.

(прізвище та ініціали)

«12» 06 2023 р.

Опонент: к.т.н. доц.

(вчений ступінь, посада)

Сивак О.О.

«14» 06 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри БМГА

В. В. Швець

(підпис (прізвище та ініціали))

«12» 06 2023 року

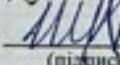
Вінниця – 2023 року

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії  
Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань 19 Архітектура та будівництво  
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія  
Освітньо-професійна програма Промислове та цивільне будівництво

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри БМГА

  
(підпис)

Швець В.В.  
(прізвище та ініціали)

"     " 2023 року

**ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТА**

Денисюка Михайла Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Вплив повітряних ударних хвиль на огороження, покриті пористими шарами

керівник роботи Попович М.М., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "20" 03 2023 року №68

2. Строк подання магістрантом роботи 31.05.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Відомі рішення експлуатації і проектування вибухозахищених будівель. Передбачається аналіз впливу ударних хвиль на фасади будівель. Результати власних попередніх досліджень, результати огляду літературних джерел.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ (актуальність та новизна наукових досліджень, об'єкт, предмет, мета і задачі, практична значимість, методи досліджень, апробація).

1. Науково-дослідна частина (аналіз стану питання, огляд літературних джерел; методи оцінки деформацій будівель під дією вибухового навантаження; причини руйнувань; методи захисту будівель; методика і результати модельних досліджень захисних властивостей пористих конструкцій; пропозиції по вдосконаленню конструкцій захисту огороження будівель)

2. Конструктивний розділ (розробка конструктивного рішення у варіанті з використанням результатів досліджень)

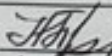

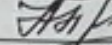



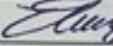

3. Розробка заходів з охорони праці та цивільного захисту.

4. Економічна частина (визначення економічного ефекту від впровадження результатів наукової розробки).

Висновки



5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Науково-дослідний розділ – 6 - 8 арк. ( плакати, що ілюструють результати науково-дослідної роботи)
2. Конструктивний розділ – 1-2 арк. (плани розглянутих будівель, розрахункові схеми, результати розрахунків)
6. Консультанти розділів роботи

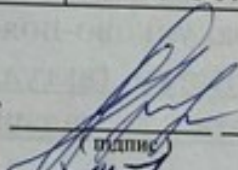
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Науковий розділ	Попович М.М., доц.	 4.02	 12.06
Технічна частина	Попович М.М., доц.	 4.02	 12.06
Охорона праці та ЦЗ	Кобилянська І.М., доц.		
Економічна частина	Лялюк О.Г., доц.		 19.06

7. Дата видачі завдання 04.02.2022 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

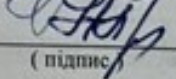
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Науково-дослідна частина	03.02-26.03.23	
2	Основи та фундаменти	27.03-03.04.23	
3	Технологія будівельного виробництва	04.04-16.04.23	
4	Охорона праці та цивільний захист	17.04-25.04.23	
5	Економічна частина	26.04-05.05.23	
6	Оформлення МКР	06.05-15.05.23	
7	Подання МКР на кафедру для перевірки	16.05-18.05.23	
8	Попередній захист	19.05-22.05.23	
9	Опонування	25.05-30.05.23	

Магістрант

  
Денисюк М.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
Попович М.М.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 624.15

Денисюк М.М. Вплив повітряних ударних хвиль на огороження, покриті пористими шарами. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 192 – будівництво та цивільна інженерія, освітня програма – промислове та цивільне будівництво. Вінниця: ВНТУ, 2023. 118 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 50 назв; рисунок: 38; табл. 11.

В даній роботі виконано аналітичний огляд сучасного стану захисту житлових будівель міст від впливу повітряних вибухових хвиль. Встановлено, що при виборі (обґрунтуванні) способів захисту будівель і споруд необхідно ретельно аналізувати причини, що викликали необхідність у цьому захисту. Проведено модельний експеримент. Виготовлено обладнання для проведення експериментів, експериментально досліджено взаємозв'язок системи використання теплозахисних конструкцій при дії вибухового навантаження, запропоновано нові конструктивні рішення захисних споруд.

В технічній частині роботи прораховані можливі варіанти руйнування багатопверхових житлових будинків з монолітним каркасом, панельними стінами і зовнішніми цегляними стінами при прямому попаданні і при вибуху поряд з будинком. Виконано розділ охорони праці та економічний розділ.

Магістерська кваліфікаційна робота містить 17 аркушів графічної частини.

Ключові слова: будівельні конструкції, руйнівні навантаження, вибух, вибухові навантаження, руйнування, ударна хвиля, вибухостійкість, експеримент, захисний пристрій.

## ABSTRACT

Denisyuk M.M. The effect of air shock waves on a fence covered with porous layers. Master's qualification thesis on specialty 192 - construction and civil engineering, educational program - industrial and civil construction. Vinnytsia: VNTU, 2023. 118 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 50 titles; drawing: 38; table 11.

In this work, an analytical review of the current state of protection of residential buildings in cities against the effects of air blast waves is performed. It was established that when choosing (substantiating) methods of protecting buildings and structures, it is necessary to carefully analyze the reasons that caused the need for this protection. A model experiment was conducted. Equipment for conducting experiments has been manufactured, the interrelationship of the system of using thermal protection structures under the action of an explosive load has been experimentally investigated, and new constructive solutions of protective structures have been proposed.

In the technical part of the work, possible options for the destruction of multi-story residential buildings with a monolithic frame, panel walls and external brick walls are calculated in the event of a direct hit and in the event of an explosion near the building. The labor protection section and the economic section have been completed.

The master's qualification work contains 17 sheets of the graphic part.

Key words: building structures, destructive loads, explosion, explosive loads, destruction, shock wave, explosion resistance, experiment, protective device.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПИТАННЯ .....	16
1.1 Аналіз руйнування міст.....	16
1.2 Характеристика вибухів та підходи до визначення їх наслідків .....	19
1.3 Оцінка параметрів ударної хвилі .....	20
1.4 Відбиття і дифракція падаючої ударної хвилі .....	27
1.5 Методи моделювання для визначення надлишкового тиску в передній частині ударної хвилі .....	30
Висновки .....	32
2 РУЙНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ В РЕЗУЛЬТАТІ ДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ. АНАЛІЗ ШЛЯХІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ВІД ДІЇ ВИБУХУ .....	33
2.1 Оцінка прояву стійкості будівель по відношенню до вибуху .....	33
2.2 Параметри меж деформації .....	35
2.3 Основні принципи вибухозахищеної конструкції .....	39
2.4 Загальні підходи до підвищення вибухостійкості.....	45
2.5 Аналіз існуючих видів заходів пасивного захисту .....	48
Висновки .....	51
3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧОЇ УДАРНОЇ ХВИЛІ ПРИ ВИБУХАХ .....	53
3.1 Зниження вибухових навантажень на будівлі і споруди за допомогою пористих екранів .....	53
3.2 Розробка конфігурації моделі захисного пристрою .....	57
3.3 Дослідження ефективності теплоізолюючих вставок .....	59
3.4 Пропозиції щодо конструкції захисного екрану .....	62
Висновки .....	68
4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА .....	69
Оцінки ступенів руйнування житлових будинків після впливу звичайних засобів ураження .....	69
4.1 Оцінка вибухостійкості панельного будинку .....	72
4.2 Оцінка вибухостійкості цегляної будівлі .....	75

	7
4.3 Оцінка вибухостійкості монолітної будівлі .....	78
4.4 Оцінка можливих ступенів руйнування житлових будівель .....	80
Висновки .....	89
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	90
5.1 Технічні рішення з безпечного проведення досліджень .....	91
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць .....	91
5.1.2. Електробезпека .....	93
5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії .....	94
5.2.1 Мікроклімат .....	94
5.2.2. Склад повітря робочої зони.....	94
5.2.3 Виробниче освітлення .....	96
5.2.4 Виробничий шум .....	97
5.2.5. Випромінювання у лабораторії .....	97
5.2.6 Психофізіологічні фактори .....	98
5.3 Заходи безпеки при проведенні досліджень.....	99
5.3.1. Оснащення лабораторії .....	99
5.3.2. Захист персоналу .....	100
5.3.3. Планування експериментів .....	100
5.3.4 Захист від вибухових ударних хвиль .....	101
Висновки .....	103
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	105
6.1 Розрахунок кошторисної вартості влаштування науково-технічної розробки .....	105
6.2 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки .....	108
Висновки .....	113
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	115
Додаток А. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень .....	119
Додаток Б. Графічна частина .....	120

## ВСТУП

### Актуальність теми дослідження

Ударна хвиля високої інтенсивності, яка утворюється в результаті вибуху в повітрі викликає руйнування будівель і вражає людей на більшій відстані від епіцентру вибуху. Крім того го, після вибуху заряду утворюються уламки його оболонки, які розлітаються з великою швидкістю (утворення шрапнелі) і можуть викликати вторинні ушкодження. Існуючі на даний час будівлі і вибухозахисні пристрої мають обмежені можливості та не можуть повністю вирішити задачу безпеки людей при застосуванні вибухових пристроїв.

У [1, 2] пропонуються різні матеріали для виготовлення захисних екранів, що послаблюють вибухову хвилю для захисту людей та техніки від зовнішнього вибуху.

Основними вражаючими факторами вибухової хвилі є надлишковий тиск на її фронті та тривалість фази стиснення. Для того щоб уникнути або хоча б зменшити їх дію на людей і конструкції, використовуються різноманітні послаблюючі пристрої, такі, як конструкції з бетону; різноманітні ґрати; послаблюючі пристрої з використанням гранульованих матеріалів та піни, включених в еластичну оболонку; насипні перешкоди.

Поведінка бетону під впливом динамічного навантаження докладно досліджено у роботі [3]. У момент, коли фронт вибухової хвилі та уламки досягають поверхні бетонної плити, углиб бетону починає рухатися хвиля стиснення. Через малу еластичність бетону хвиля стиснення викликає розтріскування або навіть руйнування задню поверхню бетонної плити. Уламки та фрагменти при взаємодії з бетоном утворюють кратери або пронизують наскрізь усю його товщу. Навантаження у місці первинного зіткнення поверхні плити з осколком на кілька порядків перевищує межу міцності бетону. Бетон широко використовується для створення загороджувальних екранів, що



послаблюють ударну хвилю. Цей матеріал внаслідок своєї міцності та масивності перешкоджає поширенню вибухової хвилі та затримує (при достатній товщині) уламки та фрагменти зруйнованих вибухом будівель. У [3] пропонується конструювати захисні огороження з бетонних плит з посиленням їх сталевую формою з кутами. Автор наводить результати експерименту порівняно з розрахунковими даними.

У роботі [4] проводилося чисельне дослідження впливу послаблюючого пристрою у вигляді ґратчастої перешкоди. Передбачалося, що ударна хвиля, що проходить, з числом Маха  $Mi = 5$  виникає внаслідок вибуху сферичного TNT заряду. Було встановлено, що в міру збільшення площі перекриття потоку ударна хвиля ослаблення більше, швидкість ударної хвилі, що проходить зменшується і, відповідно, збільшується час, протягом якого ударна хвиля сягає кінця області розрахунку. Ці ефекти виявляються сильніше у разі решітки з чарунками квадратної форми, особливо великих площ перекриття.

У роботі [5] пропонується використовувати як послаблюючий пристрій рідину, наприклад, воду з бульбашками повітря, укладену в гумову оболонку. Послаблюючий пристрій оформлено у вигляді кошика з подвійними стінками та дном. Оболонка виготовлялася з поліетилену, гуми або гуми з піною поліуретанової і наповнювалася рідинами: водою; водним розчином хлориду кальцію. Для того щоб змінити щільність і в'язкість рідини, до неї додавався гліцерин. У деяких випадках рідина замінювалася піском. Експерименти показали, що ефективність ослаблення вибухової хвилі рідиною в еластичній оболонці можна порівняти з ефективністю наповнення оболонки водною піною або наповненим газом середовищем. Еластична оболонка сприяє кращому розсіюванню енергії.

У [6] було виявлено швидке згасання ударних хвиль у насипних та гранульованих середовищах. Це дозволило припустити, що такі середовища можуть бути ефективним засобом гасіння хвиль. Теоретичне та чисельне

дослідження поведінки гранульованих середовищ під впливом ударно-хвильового навантаження були проведені в роботі [7]. В [8] були отримані емпіричні співвідношення, що дозволяють розрахувати параметри ослаблення ударної хвилі при взаємодії її з гранульованим фільтром залежно від його механічних характеристик.

Не дивлячись на велику кількість розробок, всі вони мають недоліки, що обмежують сферу їх застосування. Бетон при руйнуванні утворює великі уламки, розліт яких становить серйозну небезпеку, більше того, при обрушенні будівлі з такого важкого матеріалу неминуча масова поразка людей, що знаходяться всередині. Піна чи рідина всередині еластичної оболонки не може служити матеріалом для створення великомасштабних послаблюючих пристроїв, крім того, ці субстанції вкрай чутливі до перепадів температури. Особливості взаємодії ударної хвилі з гранульованими матеріалами недостатньо вивчені, а наведена в [9] теоретична формула для обчислення коефіцієнта ослаблення вибухової хвилі насипним середовищем застосовується тільки для одновимірного випадку (вибух у шахті).

**Актуальність обраної теми підкреслюють** результати аналізу стану будівель міст в зонах бойових дій, який показує, що більшість руйнувань сталися ненавмисне, а часом і навмисне в результаті вибухів. Бойові дії в міських районах є найбільш руйнівним типом війни, який тільки можна собі уявити. Густонаселена місцевість, складні системи, що підтримують людське життя, військова зброя, не оптимізована для цих умов, і асиметрична тактика бою на близькій відстані - все це робить ведення війни в містах невблаганними як для людей, так і для міст.

У засобах масової інформації висвітлення військових операцій у містах часто використовується термін «знищити». Наприклад, нещодавні заголовки про міські бої в містах по всьому Близькому Сходу включали: Мосул повністю

зруйнований "Повністю зруйнований": схід Алеппо через рік після битви Ракка: місто зруйнований, а потім забутий.

Цитата про місто Бан Тре під час Тетського наступу під час війни у В'єтнамі говорить про руйнівний характер військових операцій у населених пунктах. "Виникла необхідність знищити місто, щоб врятувати його", - сказав майор армії США, який брав участь у бойових діях. Ця заява, як і нещодавні заголовки про міські бої в Іраку та Сирії, висвітлює важливі питання, які об'єднують перспективи професій військових, дипломатів та неурядових організацій та сфери будівництва: чи справді можна знищити місто – вбити його? Більш фундаментально, що таке місто, і які рамки ми використовуємо, щоб зрозуміти місто? Чи руйнують військові міста? Таким чином, загрозливі цифри даних про руйнування міст, зокрема України, призводять до того, що дослідження впливу ударних хвиль на житлові об'єкти, розташовані поблизу джерела вибуху, а також підвищення стійкості будівель і споруд, має велике практичне значення при вирішенні питань безпеки і захисту людей і споруд від дії вибуху.

### **Ступінь розвитку обраної теми**

До сих пір в області вітчизняних наукових розробок переважали експериментальні методи вивчення взаємодії ударної хвилі з різними перешкодами. Результати цих досліджень не відображені в існуючих нормативних документах і методичних рекомендаціях з безпеки. Проведені в роботі дослідження зі створення моделі аналізу ефектів вибуху для кількісної оцінки навантажень відбитого тиску і імпульсу падаючої ударної хвилі на будівлі і споруди, розташовані за жорсткими або крихкими бар'єрами вибуху, характеризуються приведенням отриманих в результаті дослідження залежностей до конкретних виразів, що сприятиме в подальшому, впровадженню отриманих результатів досліджень в нормативні документи.

### **Мета кваліфікаційної роботи**

1. Підвищення стійкості будівель і споруд, а також захисту населення, шляхом розробки моделі оцінки впливу вибуху на будівлі і споруди, які знаходяться в експлуатації або проектуються.

2. Створення нового типу конструкції як ефективного методу захисту від ударних хвиль і локалізації їх дії в умовах існуючої щільної забудови простору території міст.

Для досягнення поставлених цілей були сформульовані такі **основні завдання**:

1. Проаналізувати дані про відомі пошкодження і руйнування будівель в процесі терористичних чи військових дій для виявлення загальної кількості пов'язаних з видом «вибуху».

2. Вивчити вітчизняні та зарубіжні підходи в оцінці параметрів ударних хвиль.

3. Дослідити параметри меж деформації конструкції при вибуху. Узагальнити принципи вибухозахищеного проектування і основні підходи до підвищення вибухостійкості будівель і споруд.

4. Розробити алгоритм, що дозволяє візуалізувати відсоток пошкоджень будівель і споруд в результаті впливу вибухових навантажень.

5. Розробити нову конфігурацію спеціального захисного пристрою оптимального типу, здатного мінімізувати вплив ударної хвилі на будівлю.

**Наукова новизна** дослідження полягає в наступному:

1. Модель аналізу наслідків вибуху запропонована для кількісної оцінки навантажень відбитого тиску і імпульсу падаючої ударної хвилі на будівлі і споруди, розташовані за жорсткими або крихкими бар'єрами вибуху.

2. Розроблено підхід, що дозволяє візуалізувати відсоток пошкоджень будівель і споруд в результаті вибуху на основі результатів розрахунку, отриманих за допомогою моделі аналізу ефектів вибуху.

3. Для зниження інтенсивності падаючої ударної хвилі на будівлі і споруди розроблена принципово нова конфігурація спеціального захисного



пристрою оптимального типу, здатного мінімізувати його вплив по шляху руху від джерела вибуху.

4. Аналітичні методи і методи експериментального моделювання встановили ефективність використання пористих матеріалів в поєднанні із захисним бар'єром твердих матеріалів з їх пошаровим розташуванням щодо джерела вибуху.

### **Теоретичне значення роботи**

Теоретичне значення роботи полягає в аналізі результатів попередніх досліджень і розробок в області методів оцінки впливу ударної хвилі на будівлі і споруди небезпечних виробничих об'єктів. В узагальненні існуючих на території України методів і засобів захисту від випадкових вибухів і аналізі зарубіжних підходів до модернізації будівель і споруд. При розробці універсальної моделі для аналізу впливу вибухового впливу на будівлі і споруди з урахуванням використання вибухозахищених екранів. Запропоновано захисний пристрій оптимального типу для поглинання енергії ударної хвилі.

### **Практичне значення роботи**

Практична значимість роботи полягає в розробці алгоритму визначення оптимального типу вибухозагороджувального бар'єру, включаючи визначення його проектних параметрів. Розроблена методика кількісної оцінки та візуалізації впливу вибуху на побудовані об'єкти за жорсткими або крихкими вибухозагороджувальними бар'єрами може бути включена в нормативно-технічні документи, що регламентують діяльність у сфері промислової безпеки.

Проведені в роботі дослідження, отримані результати, а також розроблена числова модель розрахунку параметрів ударних хвиль за захисними бар'єрами можуть бути використані при проектуванні захисних споруд, призначених для зниження динамічних навантажень при ударно-вибухових впливах.

### **Методологія та методи дослідження**

Теоретичні дослідження базуються на методах і рівняннях теорії детонації і теорії ударних хвиль. Для вирішення поставлених завдань також використовувалися методи збору і обробки даних - аналіз і синтез, виявлення

закономірностей, опис, узагальнення; моделювання виникнення розвитку аварій та їх наслідків; методологія аналізу ризику нещасних випадків. Для вирішення певних завдань використовувалися чисельні методи моделювання.

### **Положення, що підлягають захисту**

До захисту висуваються такі положення:

1. Модель аналізу ефекту вибуху для кількісної оцінки навантажень відбитого тиску і падаючого ударно-хвильового імпульсу на будівлі і споруди.
2. Методика, що дозволяє візуалізувати відсоток пошкоджень будівель і споруд в результаті вибуху на підставі результатів розрахунку, отриманих за допомогою моделі аналізу ефектів вибуху.
3. Конфігурація спеціального захисного пристрою оптимального типу, здатного мінімізувати вплив ударної хвилі по шляху її руху від джерела вибуху.

### **Об'єкт дослідження**

Технологічна система «захисний шар – огорожувальна конструкція» в процесі сприйняття вибухових навантажень під час бойових дій.

**Предмет досліджень** – вплив покриття пористими шарами стінового огородження на стійкість при впливі повітряних ударних хвиль.

### **Апробація результатів**

Результати дослідження були апробовані на ЛІІ Науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету НТКП ВНТУ (2023) 21-23 червня 2023 року.

### **Публікації за темою дослідження**

Основні результати дослідження представлені в тезах «Вплив повітряних ударних хвиль на зовнішнє огородження будівель»

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2023/paper/view/17325>.

Подано дві заявки на патенти на корисну модель «Пристрій для захисту від ударних повітряних хвиль», «Пристрій для захисту конструкції від вибухової ударної хвилі» в ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ» (УКРПАТЕНТ).

**Особистий внесок автора.** Особистий внесок автора полягає в самостійному аналізі результатів попередніх досліджень і розробок в області методів оцінки параметрів ударних хвиль. В узагальненні існуючих методів і засобів захисту від аварійних вибухів і підходів при модернізації будівель і споруд, спроектованих у вибухозахищеному проектуванні. Розробка універсальної моделі для аналізу вибухонебезпечних впливів при використанні вибухозахищених екранів. Розробка конфігурації вибухозахисного пристрою для віконних прорізів. Проведення експериментального дослідження ефективності теплоізоляційних покриттів.

### **Структура та обсяг магістерської кваліфікаційної роботи**

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновку, списку використаних джерел із 50 назв, 2 додатки; містить 118 сторінки основного тексту, 38 рисунки, 11 таблиць.

## 1 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПИТАННЯ

### 1.1 Аналіз руйнування міст

Міста руйнувалися протягом всієї історії. Природа винна в більшості цих випадків, коли повне і остаточне викорінення цивілізації з великої міської території, яка відповідає фізичним, населеним і соціальним порогам, щоб бути позначеним містом. Коли Везувій вивергнув лаву в 79 році нашої ери, він стер з історії Помпеї і його понад двадцять тисяч жителів.

Є чіткі історичні випадки, коли військові та воєначальники намагалися повністю знищити місто – від біблійної та давньої історії до новин XXI століття.

В історії міських руйнівників мало хто зрівняється з кривавою бійнею Чингісхана та його монгольської армії, коли вони завоювали більшу частину Центральної Азії. Вважається, що Чингісхан скоротив населення планети на 11 відсотків. Не маючи руйнівних військових технологій сучасності, монголи в основному використовували кінну піхоту для нападу на жителів міста, щадячи лише кваліфікованих робітників, таких як теслі, тоді як некваліфіковані жителі були вбиті, згвалтовані або використані як живий щит у наступних міських штурмах. Міста, які отримали найгірше, були тими, які підбурювали помсту Чингісхана. Дізнавшись про повстання в захопленому місті Герат, сучасний Афганістан, в 1221 році, він наказав убити все населення, яке оцінюється в 1,6 мільйона. Легенди говорять, що в живих залишилося всього дев'ять чоловік. Його жорстока тактика навіть включала відведення річок, щоб затопити і стерти залишки міст з історії.

Століттями пізніше Адольф Гітлер продемонстрував таке ж навмисне руйнування міст, часто також викликане особистим гнівом і сформоване розумінням того, що якщо місто має бути знищене, його життєво важливі компоненти (населення) та ресурси (наприклад, продукти харчування, фабрики, річки), від яких воно залежить, також повинні бути знищені.

У набагато масштабніших масштабах нацисти організували навмисне знищення Варшави. Німці планували зруйнувати місто і вбити його єврейських



мешканців ще до початку війни. Після бунтівних заворушень у Варшавському гетто в 1943 і 1944 роках Гітлер наказав «зрівняти все місто з землею». Спеціальні «загони знищення та спалювання» були направлені до Варшави для систематичного знищення з літаків. Від 85 до 90 відсотків всіх споруд у місті були зруйновані.

Союзні війська також стали жертвами переконання, що стратегічне бомбардування може мати вирішальний ефект під час Другої світової війни і були винні в урбіциді. Сполучені Штати скинули близько 1 700 тонн бомб на Токію, Японія, зруйнувавши понад 280 000 будівель, убивши приблизно сто тисяч людей і поранивши ще мільйон. Британські та американські війська скинули понад 3900 тонн бомб на Дрезден, Німеччина, з оцінками загиблих від двадцяти п'яти тисяч до 250000. Понад двадцять чотири тисячі з 28 410 будинків у центрі Дрездена, площею п'ятнадцять квадратних миль, були зруйновані.

Ядерні атаки стоять у своєму класі для руйнування міст. Дві атомні бомби, використані під час Другої світової війни, викликали історичний рівень руйнувань за вражаюче короткий проміжок часу. 6 серпня 1945 року Сполучені Штати скинули уранову бомбу під назвою «Маленький хлопчик» на Хіросіму, Японія. Виробничий центр і місце розташування великої армійської бази, на якій розміщувалися штаб-квартира японської 5-ї дивізії і штаб 2-ї армії, Хіросіма мала населення приблизно 350 000 чоловік до нападу. Вибух бомби, рівний 15000 тонн тротилу, знищив п'ять квадратних миль міста за лічені секунди. Дев'яносто відсотків з сімдесяти шести тисяч будівель міста були спалені або перетворені на руїни.

Масовані повітряні бомбардування військових об'єктів в містах і навколо них, відповідно до теорії стратегічних бомбардувань, нікуди не поділися в епоху після Другої світової війни. За одинадцять днів під час війни у В'єтнамі Сполучені Штати скинули приблизно двадцять тисяч тонн вибухівки над Північним В'єтнамом, в основному в Ханой і його околицях. У 1999 році НАТО повідомила, що вона скинула двадцять три тисячі бомб протягом сімдесяти восьми днів операції зі знищення військових об'єктів, багато з яких

знаходилися в містах Югославії. Уряд Югославії оцінив збитки від вибухів у 100 мільярдів доларів і повідомив, що 50 000 будинків і квартир були зруйновані.

У 1999 році Росія протягом п'яти років вела свою другу війну проти чеченських повстанців, в тому числі в місті Грозному. Після майже поразки в 1994 році росіяни намагалися запобігти викриттю своїх солдатів під час ближніх боїв, які відбуваються в міських боях під час їх другого штурму. Під час війни 1999 року вони перебували в основному за межами Грозного і піддавали його інтенсивним широкомасштабним повітряним бомбардуванням. Майже цілий місяць росіяни проводили до 1 700 бойових вильотів на день по цілях у місті. Знищені двома війнами, деякі кажуть, що в місті не залишилося жодної будівлі неушкодженою. У 2003 році Організація Об'єднаних Націй назвала Грозний «найбільш зруйнованим містом на землі».

Руйнування, викликані повітряними бомбардуваннями – від Лондона і Дрездена до Ханоя і Грозного – все частіше замінюються руйнуваннями, викликаними військовою тактикою очищення укорінених повстанців, терористів і повстанців за допомогою побудинкових технологій і вибухівки великої площі, не призначених для міських районів. Це не навмисне насильство над містом, але все ж передбачуване знищення.

Історично склалося так, що військові зусилля з навмисного знищення міста були в основному невдалими. Це ще більш зрозуміло в постіндустріальну епоху. Майже всі міста, які постраждали від Другої світової війни - Дрезден, Берлін, Варшава, Нагасакі та інші - були швидко відремонтовані і процвітають донині.

## 1.2 Характеристика вибухів та підходи до визначення їх наслідків

У разі вибуху на несучі і огорожувальні конструкції будівлі діють неперіодичні короткочасні динамічні навантаження, закони зміни в часі залежать від виду вибуху [10, с. 18]. Бувають детонаційні і дефлагаційні вибухи. Детонація характеризується поширенням вибуху через небезпечну речовину (в основному конденсовані вибухові речовини (СЗ) - ТНТ, RDX, а також газові і пароповітряні суміші, що утворюються при надходженні водню і ацетилену в атмосферу, рідше сумішей кисню з газоподібними вуглеводнями - хмарами ТВС), «за рахунок проходження УХ з постійною надзвуковою швидкістю, що забезпечує швидку хімічну реакцію» [10, с. 115]. Характер зміни хвиль детонації і дефлагації як функції часу наведено на рисунках нижче (рис. 1.1 а, б).

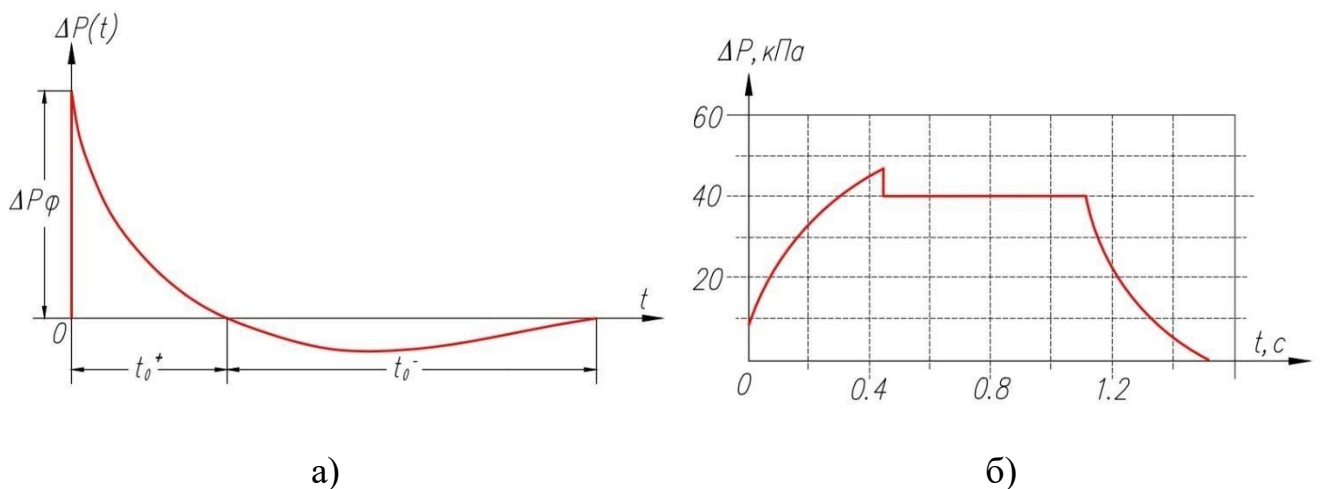


Рисунок 1.1 - Типові профілі а) детонаційних і б) дефлагаційних хвиль

При вибухах дефлагації, які можна спостерігати в хмарах палива, швидкість поширення полум'я через речовину менше звуку і може варіюватися в широких межах. Характер зміни надлишкового тиску при такому вибуху інший, ніж при детонації: його підвищення відбувається повільніше і максимальний тиск менше, але тривалість дії більше. Таке навантаження ближче до статичного, але може бути більш небезпечним для будівельних конструкцій,

ніж більш інтенсивне, але короткочасне навантаження при детонаційному вибуху. Ще одна принципова відмінність вибуху дефлагації такого типу полягає в тому, що надлишковий тиск залежить тільки від швидкості горіння речовини, але ніяк не від його кількості - останнє визначає тривалість тиску. Після закінчення згорання хмари палива від його межі поширюється ультрафіолет, тиск на передній частині якого набагато менше, ніж при детонації. Тому, як правило, вибух дефлагації становить небезпеку для споруди тільки в тому випадку, якщо вона повністю або частково знаходиться всередині хмари. Слід мати на увазі, однак, що за певних умов режим спалювання деяких видів палива в хмарах може змінюватися від дефлагації до детонації. З довідника [11, с. 88] відомо, що перехід дефлагаційного горіння в детонацію в газоповітряних сумішах можливий в наступних випадках:

1. При збагаченні горючої суміші киснем;
2. З дуже великими розмірами газових хмар;
3. При наявності турбулаторів горіння.

Кількісна оцінка запасу міцності конструкції при дефлагаційно-детонаційних видах вибухового перетворення показує, що для забезпечення стійкості будівлі, на яку впливає ударно-детонаційна хвиля, необхідний подвійний запас міцності в порівнянні з впливом хвилі стиснення дефлагацій тієї ж інтенсивності.

### 1.3 Оцінка параметрів ударної хвилі

Для визначення вибухового навантаження, що надходить на будівлі і споруди, проводиться аналіз залежності імпульсу від надлишкового тиску в процесах вибуху на відкритому просторі і в приміщеннях, фізико-хімічних (детонація) вибухів шляхом побудови діаграм «надлишковий тиск - імпульс», ( $P-I$ ) діаграм. Залежно від джерел енергії розглядаються фізичні та хімічні вибухи. Джерелом енергії фізичних вибухів є енергія фази стисненого газу.



Хімічний вибух виділяє теплову енергію в результаті хімічних реакцій, до них відносяться вибухи горючих речовин, вибухи газу або пилу. Найнебезпечніші наслідки вибухів пов'язані з утворенням динамічного імпульсу у вигляді УХ. Стрибок ущільнення, або ВК, - це вузька перехідна область, що поширюється з надзвуковою швидкістю, в якій відбувається різке збільшення щільності, тиску і швидкості. На рис. 1.2 показаний типовий вуглеводневий профіль, викликаний вибуховим тиском в разі ідеальної детонації. Детонація - найнебезпечніший вид вибухового перетворення. Детонаційна хвиля поширюється через незворушене середовище з надзвуковою швидкістю, приводячи до локального підвищення тиску в зоні хімічного перетворення вихідної речовини в кінцеві продукти. В результаті детонації утворюється обмежена площа продуктів детонації з високими тисками і температурами, різке розширення цієї площі призводить до утворення УХ в повітрі (або ґрунті) і їх взаємодії з будь-якими перешкодами. Іншими словами, після закінчення процесу детонації від межі хмари поширюється УФ (рис. 1.2), швидкість якого більше швидкості звуку. На рисунку 1.3 представлений типовий вуглеводневий профіль, характерний для випадку ідеальної детонації.

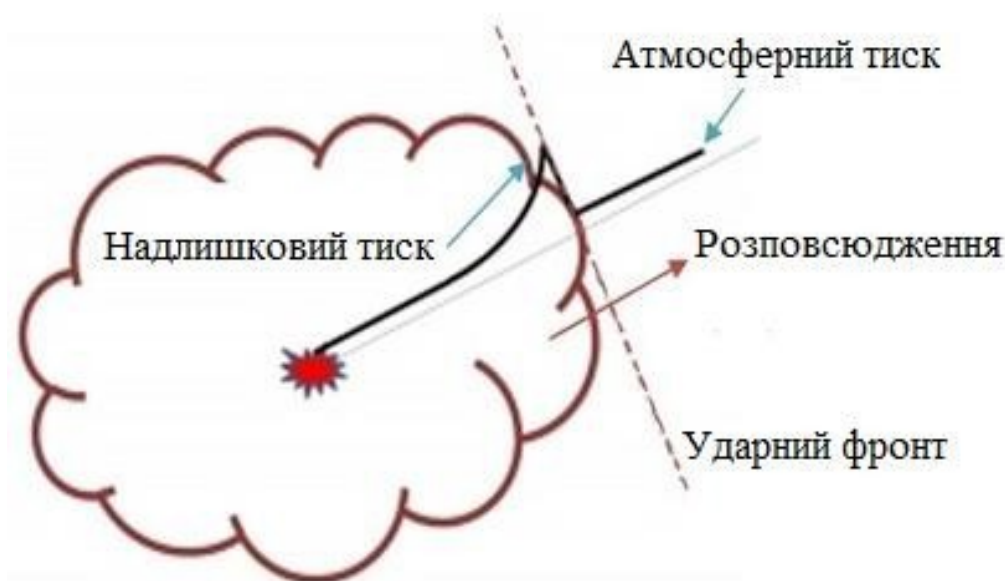


Рис. 1.2 - Схема розподілу тиску по вибуховій хвилі

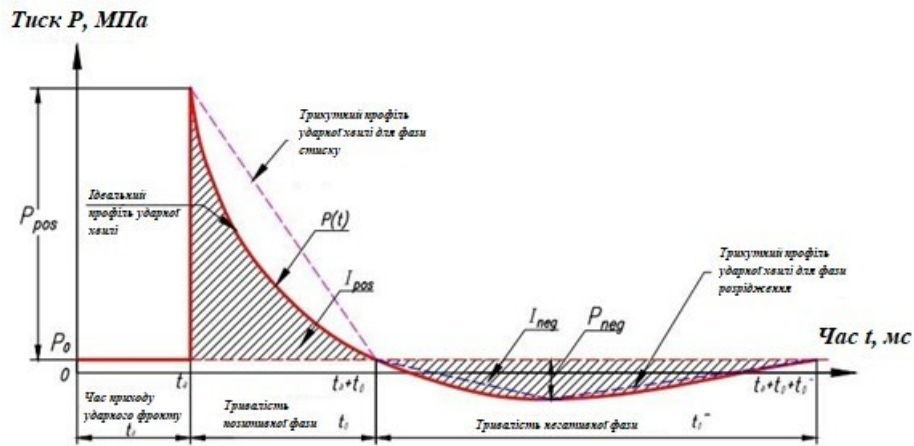


Рисунок 1.3 - Характерний профіль ударної хвилі

Тут  $P_0$  — атмосферний тиск, кПа;  $P_{\text{pos}} (P_+)$  — амплітуда фази стиску, кПа;  $t_a$  — час приходу ударного фронту, с;  $P(t)$  — крива зміни тиску;  $I_{\text{pos}} (I_+)$  — імпульс фази стиску, кПа·с;  $t_0$  — тривалість фази стиску, с;  $I_{\text{neg}} (I_-)$  — імпульс фази розрідження, кПа·с;  $P_{\text{neg}} (P_-)$  — амплітуда фази розрідження, кПа;  $t_0^-$  — тривалість фази розрідження, с.

Позитивна фаза хвилі тиску, відома як фаза стиснення, характеризується амплітудою надлишкового тиску, імпульсом фази стиснення та позитивною тривалістю фази; негативна фаза або фаза розрідження характеризується тривалістю, імпульсом та амплітудою фази розрідження. Найчастіше при аналізі використовується трикутний профіль вибухового навантаження, про що свідчить пунктирна лінія на рисунку 1.3, нехтуючи негативною фазою. Найчастіше при аналізі використовується трикутний профіль вибухового навантаження, про що свідчить пунктирна лінія на рисунку 1.3. Часто при аналізі використовується трикутний профіль вибухового навантаження, нехтуючи негативною фазою. Більшість емпіричних підходів до розрахунку і визначення профілю надлишкового тиску УФ-вибуху були запропоновані і широко вивчені з середини ХХ століття. (М.А. Садовский, 1941 р.; Н.Л. Brode, 1955 р.; J. Henrych, 1979 р.; W. Baker, 1983 р.; M. Held, 1983 р.; Ч. Кингери і Дж. Балмэш, 1984 р.; Дж. Кинни і К. Грахам, 1985 рг.; М.М. Ismail і S.G. Murray, 1993 р.; P.D. Smith і J.G. Netherington, 1994 р.; Т. Krauthammer і А. Altenberg, 2000 р.; N. Lam і Р.

Mendis, 2004 p.; M.Y.H. Bangash і T. Bangash, 2006 p.; З. Баджич, 2007 p.; J. Borgers і J. Vantomme, 2008 p.; M. Teich і N. Gebbeken, 2010 p.). У зарубіжній практиці рівняння Фрідлендера найчастіше використовується для опису профілю вибухової хвилі через його простоти в порівнянні з іншими емпіричними відносинами. Початкове рівняння Фрідлендера не залежить від атмосферного тиску. Однак модифіковане рівняння Фрідлендера з урахуванням  $P_0$  широко використовується для моделювання УХ, будучи порівняно більш точним і досить простим:

$$P(t) = P_0 + P_{\text{pos}} \left(1 - \frac{t}{t_{\text{pos}}}\right) e^{-b\left(\frac{t}{t_{\text{pos}}}\right)}, \quad 0 < t \leq t_{\text{pos}}, \quad (1.1)$$

$$b = 2,3 \left(\frac{t_{\text{pos}}}{t}\right) \log\left(\frac{P_{\text{pos}}}{P}\right), \quad (1.2)$$

де  $P_0$  - атмосферний тиск, кПа;  $P_{\text{pos}}$  – амплітуда надлишкового тиску, кПа;  $b$  - параметр, що описує зниження кривої (декремент загасання);  $t$  - час, що минув з початку вибуху, мс;  $t_a$  - час приходу ударного фронту, мс.

Позитивна фаза імпульсу стиснення розраховується за експресією (1,3), аналітичним рішенням за формулою (1,4).

$$I_{\text{pos}} = \int_{t_a}^{t_a+t_{\text{pos}}} P(t) dt. \quad (1.3)$$

$$I_{\text{pos}} = \frac{P_{\text{pos}} \cdot t_{\text{pos}}}{b^2} [b - 1 + e^{-b}]. \quad (1.4)$$

Крім того, формула (1.4) служить альтернативним рішенням при визначенні декременту загасання  $b$ , якщо з експериментальних даних відомі параметри  $P_{\text{pos}}$ ,  $I_{\text{pos}}$ ,  $t_{\text{pos}}$ .

Ще один загальноприйнятий підхід до отримання значення тиску вибуху полягає в уточненні вибухового впливу на елемент конструкції у вигляді функції тиску, яка також залежить від часу. Цей підхід базується на емпіричній моделі К. Кінгері і Дж. Бальмеш [12]. Піковий тиск розраховується за допомогою рівняння, реалізованого в підході CONWEP [13].

Коли ударна хвиля зустрічається з жорстким бар'єром, вона відбивається і хвиля відбиття починає поширюватися в бік падаючої хвилі. Тиск, що відчувається поверхнею, є комбінованим ефектом падаючої хвилі і відбитої:

$$\Delta P = P_r \cos^2 \alpha + P_i (1 + \cos^2 \alpha - 2 \cos \alpha), \quad (1.5)$$

де  $P_r$  і  $P_i$  - відбитий і падаючий тиск відповідно, кПа;  $\alpha$  - кут падіння ударний фронт на поверхню.

Тиск від падаючої і відбитої хвиль розраховується окремо. Детально про відбитий тиск в пункті 1.4 глави 1. Згідно [13], значення падаючої на поверхню УХ можна знайти на основі модифікованого рівняння Фрідлендера (1.1), піковий відбитий тиск визначається відповідно до (1,6):

$$P_r = 2P_{\text{pos}} \left( \frac{7P_0 + 4P_{\text{pos}}}{7P_0 + P_{\text{pos}}} \right) \quad (1.6)$$

Формула (1.5) справедлива, якщо  $\alpha$  кут між напрямком руху і поверхнею, на якій відбувається стрибок ущільнення, менше  $90^\circ$ , тобто  $0 \leq \cos \alpha < 1$ . Якщо  $\cos \alpha < 0$  то формула (1.5) набуває вигляду:

$$\Delta P = P_i, \quad (1.7)$$

Підхід CONWEP реалізований в програмному комплексі моделювання вибухового навантаження LS-DYNA, який вбудований в програмні пакети ANSYS і MD NASTRAN, а також підтримується програмою MEDINA. Застосування заданих функцій, представлених в підході, дає можливість з прийнятною точністю описати піковий тиск і імпульс, що надходить в конструкцію. Однак обмеженість такого підходу полягає в тому, що він не враховує ефект «загасання» ударної хвилі через наявність об'єктів на шляху її поширення і локальних ефектів її відбиття від структурних елементів. З урахуванням геометричних характеристик навколишнього простору, що є в методиці [3, с. 15], ступінь захараченості простору визначає швидкість вибухового перетворення хмари ТВС.

Згідно [14], надлишковий тиск детонаційної хвилі визначається як різниця між абсолютним тиском на фронті детонаційної хвилі і атмосферним. Після того



як хвиля детонації досягла межі хмари, УХ поширюється в навколишньому повітрі. Його параметри залежать від відстані, тиск знижується в міру віддалення від місця вибуху. Для УХ, що знаходяться в повітрі, величина надлишкового тиску визначається виходячи з маси заряду в еквіваленті тринітротолуолу (тротилу), що має молекулярну формулу  $C_7H_5(NO_2)_3$ , відстань до заряду і орієнтацію вибухового елемента в просторі.

Для розрахунку параметрів ударної хвилі на заданій відстані від джерела ініціації заряду з урахуванням кількісного значення маси тротилу зазвичай попередньо розраховують відповідне приведену відстань по співвідношенню ( $Z$ ) (1.8).

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W}}, \quad (1.8)$$

де  $R$  - відстань від центру хмари до даної точки, м;  $W$  – кількісний значення маси тротилу, кг.

Зміна тиску за фронтом УХ з відстанню показано на рисунку 1.4

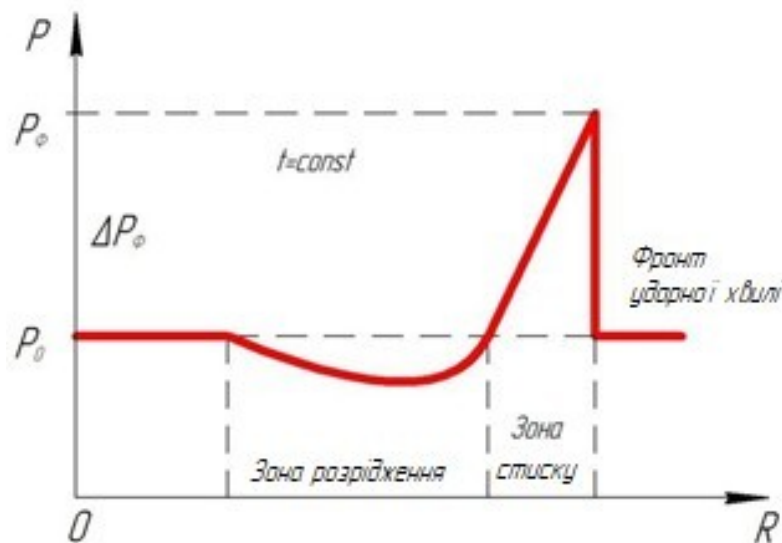


Рисунок 1.4 - Зміна тиску за фронтом УХ з відстанню

Таке моделювання параметрів УХ базується на принципі «кубічного кореня» Гопкінсона: «Такі ударні хвилі утворюються на однакових однакових відстанях у випадках, коли в одній атмосфері детонують два заряди однієї і тієї ж речовини схожої геометрії, але різних розмірів» [15, с. 154].

Рівняння, запропоноване Дж. Кінні і К. Грем, відображає залежність надлишкового тиску від зменшеної відстані ( $Z$ ) при реалізації сценарію хімічного вибуху і може бути записана в наступному вигляді:

$$\frac{P_{\text{pos}}}{P_0} = \frac{808 \left[ 1 + \left( \frac{Z}{4.5} \right)^2 \right]}{\sqrt{1 + \left( \frac{Z}{0.048} \right)^2} \cdot \sqrt{1 + \left( \frac{Z}{0.32} \right)^2} \cdot \sqrt{1 + \left( \frac{Z}{1.35} \right)^2}} \text{ (бар)} \quad (1.9)$$

Вітчизняні підходи в області промислової безпеки при дослідженні вибухів хмар палива також застосували поняття тротилового еквівалента в енергетиці, вважаючи, що ці вибухи є аналогом вибухів твердих (конденсованих) вибухових речовин.

Методи, засновані на тротиловому еквіваленті, включають рівняння М.А. Садовського [16] для оцінки наслідків детонаційних вибухів хмар ТВС:

$$\Delta P_{\phi} = 0.085 \cdot \frac{\sqrt[3]{W}}{R} + 0.3 \left( \frac{\sqrt[3]{W}}{R^2} \right)^2 + 0.8 \left( \frac{\sqrt[3]{W}}{R^2} \right)^3 \text{ (МПа)} \quad (1.10)$$

Слід зазначити, що існують відмінності в позначенні пікового надлишкового тиску в вітчизняних джерелах ( $\Delta P_{\phi}$ ) під якими слід розуміти надлишковий тиск у фронті УХ і в зарубіжних джерелах, часто зустрічаються ( $P_i$ ), ( $P_{\text{max}}$ ) або позначення амплітуди фаз стиснення ( $P_{\text{pos}}$ ).

На підставі експерименту З. Бадзич у своїй роботі [17] модифікував рівняння М.А. Садовського і представив нове співвідношення для розрахунку пікового надлишкового тиску:

$$\Delta P_{\phi} = 1.02 \cdot \frac{\sqrt[3]{W}}{R} + 4.36 \frac{\sqrt[3]{W^2}}{R^2} + 14 \frac{W}{R^3} \text{ (бар)} \quad (1.11)$$

Однак моделі вибуху хмари ТВС, засновані на тротиловому еквіваленті, не здатні правильно описати явища, що відбуваються в ближній зоні об'ємного вибуху. Це пояснюється тим, що початкові умови утворення УХ при вибуху пароподібної хмари за рівнем тиску і геометричними розмірами різко відрізняються від таких при вибуху конденсованих ВР [18]. У безпосередній близькості від місця вибуху конденсованої вибухової речовини тиск може перевищувати 1 ГПа, при цьому максимальне значення надлишкового тиску в

результаті детонаційного вибуху паливного бака в ближній зоні не перевищує 2 МПа [17]. Розсіювання енергії в повітряних ударних хвилях також відрізняється: коли вибухають конденсовані вибухові речовини, воно відбувається інтенсивніше, за рахунок більшої інтенсивності хвилі.

Таким чином, методи, засновані на тротиловому еквіваленті, можуть використовуватися в якості консервативної оцінки стійкості об'єктів, необхідної для швидкого аналізу, за умови, що вони розташовані в середній і дальній зонах.

#### 1.4 Відбиття і дифракція падаючої ударної хвилі

Навантаження на будівлі і споруди від дії ударної хвилі визначаються з урахуванням її взаємодії з бар'єром (відбиття, обтічність, витік). Коли УХ зустрічається з жорстким бар'єром, відбувається її відбиття і починає поширюватися відбиття ( $\Delta P_{f2}$ ) в сторону падаючої хвилі ( $\Delta P_{f1}$ ). Коли проходить вибух на певній висоті над бар'єром, нормальне відбиття відбувається в якійсь точці простору (рис. 1.5).

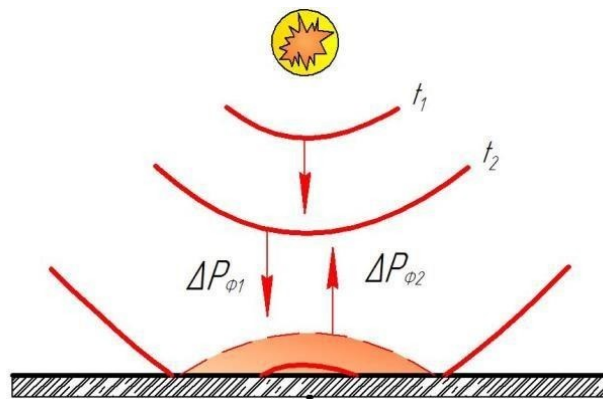


Рисунок 1.5 - Нормальне відбиття УХ від бар'єру

Тиск на бар'єр збільшується більш ніж в два рази, так як крім тиску стисненого в хвилі повітря, загальмований потік повітря позаду передньої частини діє, створюючи додатковий швидкісний напір. Параметри відбитої УХ розраховуються з умови, що на перешкоді, а отже, і на фронті відбитої хвилі швидкість повітряного потоку дорівнює нулю.

Різниця тисків на фронті відбитої хвилі залежить від кута зустрічі ( $\alpha$ ) УХ з бар'єром.

Кут падіння хвилі - це кут  $\alpha$ , утворений поверхнею бар'єру і дотичний до фронту хвилі з вершиною в точці зіткнення (рис. 1.6).

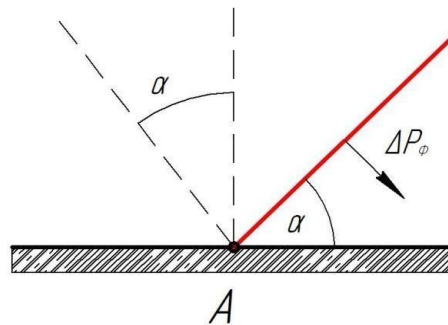


Рисунок 1.6 - Кут зіткнення УХ з бар'єром ( $\alpha$ )

Нормальним відбиттям називається таке, при якому кут між нормаллю до бар'єру і напрямком поширення фронту хвилі дорівнює нулю ( $\alpha = 0$ ). На  $\alpha > 0$  відбувається так званий «косий удар». Величина відбитої хвилі при  $\alpha = 0$  зустрічається за розробленою теорією відбиття УХ, експериментально підтвердженої А. В. Беляєвим, і при  $\alpha > 0$ , за формулою Ізмайлова-Крусара.

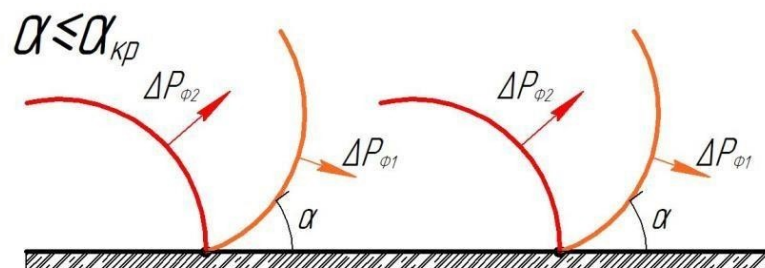


Рисунок 1.7 - Регулярне відбиття

Проводиться відмінність між регулярним (рис. 1.7) і нерегулярним (рис. 1.8) відбиттям. При регулярному відображенні в точці зіткнення падаючої УХ і перешкоди виникає відбита хвиля, яка весь час рухається за падаючою УХ, не випереджаючи її. Точка перетину обох хвиль знаходиться на поверхні бар'єру.

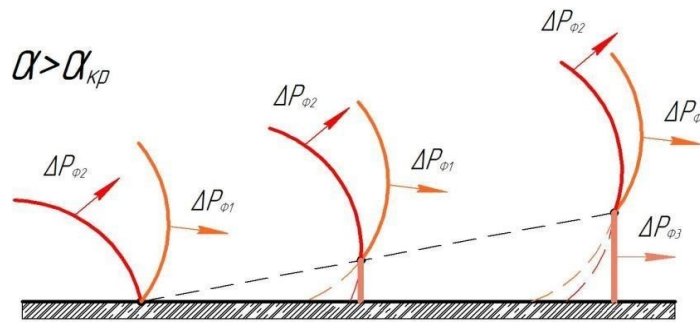


Рисунок 1.8 - Нерегулярне відбиття

Нерегулярне відбиття характеризується поведінкою фронту відбитої хвилі, при якому вона наздоганяє передню частину падаючої хвилі і поступово зливається з нею в міру злиття великих ділянок падаючих і відбитих хвиль. Точка перетину двох фронтів поступово відривається від поверхні бар'єру, утворюючи фронт третьої УХ ( $\Delta P_{\text{т3}}$ ), званого головною хвилею. В цілому картину відбиття падаючої УХ від поверхні можна представити таким чином (рис. 1.9). У зоні так званого епіцентру вибуху утворюється нормальне відбиття  $\alpha = 0$ ; У ближній зоні, межі якої знаходяться на відстані, рівній висоті ініціації хмари, утворюється регулярне відбиття кута  $\alpha \leq \alpha_{\text{ст}}$ , де  $\alpha_{\text{ст}} = 40^\circ$ ; і, нарешті, в дальній зоні, межі якої більше відстані від точки ініціації хмари до поверхні в 5 разів, утворюється нерегулярне відбиття,  $\alpha > \alpha_{\text{ст}}$ , тобто  $40^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ .

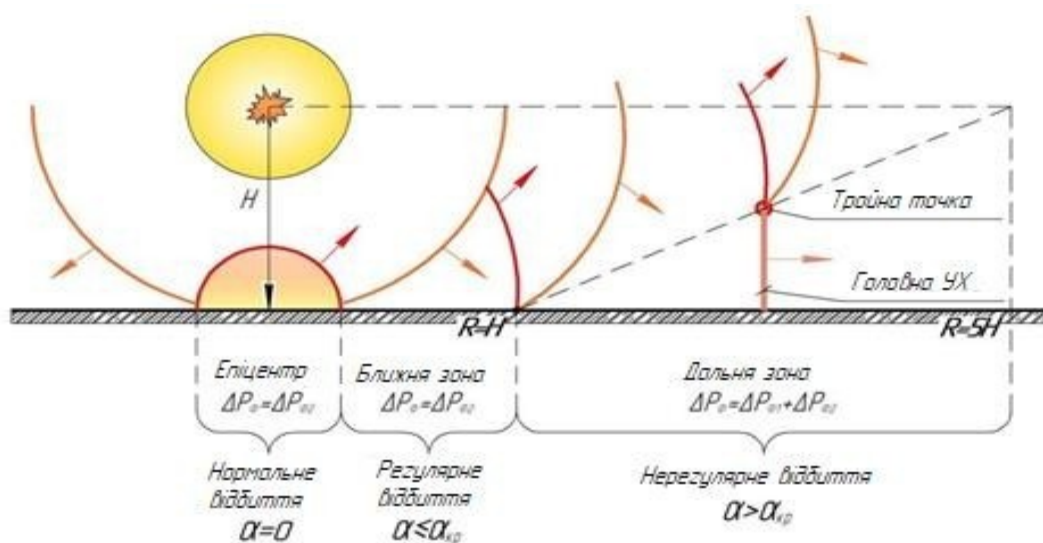


Рисунок 1.9 - Загальна схема відбиття УХ

## 1.5 Методи моделювання для визначення надлишкового тиску в передній частині ударної хвилі

Існуючі методики, згадані вище і використовувані для оцінки впливу УХ на об'єкти, в основному базуються на результатах польових експериментальних досліджень. Ці прийоми зазвичай описують вибухи сферичних хмар у відкритому просторі.

За допомогою цих методик можна розрахувати поля тиску і імпульсів при вибухах, визначити радіуси зон і рівні можливих руйнувань, а також частоту впливу падаючих УХ на будівлю, споруду [3, 18, 19, 20]. Однак вони дають можливість приблизно визначити утворився руйнування і не враховують реальний розвиток ОПО, рельєф, реальну форму хмари і змінну концентрацію в ньому, розташування джерела запалювання. На сьогоднішній день найбільш адекватну оцінку параметрів вибухового навантаження дозволяють засоби чисельного моделювання з використанням математичних моделей, що описують поширення продуктів вибуху і ударних хвиль в 3-мірному просторі.

Методи, які найбільш точно оцінюють наслідки вибуху, використовують підхід розрахункової динаміки рідини (CFD) для розрахунку навантаження вибуху в певних точках конструкції. Програмне забезпечення, засноване на CFD-підході, враховує просторові зміни навантаження, геометрію будівлі, відстань між джерелом вибуху і конструкцією. Порівняння розрахунків за російськими нормативними методиками, що входять в обчислювальний комплекс ТОХІ+, і зарубіжними методами, використовуваними в програмах PHAST і FLACS для типових сценаріїв аварій з виділенням легкозаймистих рідин, зріджених УХ і токсичних речовин, показало, що застосування методів, заснованих на «тротиловому еквіваленті», дають найбільш консервативні відстані зон руйнування. Різниця величин відстаней в залежності від умов може відрізнятись від 2 до 10 разів в порівнянні з експериментами і розрахунками, виконаними за методиками, розробленими відповідно до чинними нормативно-



методичними документами [3, 18, 19, 20] (TOXI+), BST (PHAST) і розрахункової гідродинаміки комплексу FLACS (CFD).

Методи, доступні для прогнозування наслідків вибуху, можна згрупувати за трьома основними категоріями, а саме: 1) емпіричні (або аналітичні) методи, 2) напівемпіричні методи і 3) чисельні методи (або методи першого порядку).

Емпіричні підходи розробляються на основі великого аналізу величезних обсягів експериментальних даних, зібраних за тривалий період часу і, таким чином, обмежені розмірами експериментальної бази даних. Крім того, загальновідомо, що емпіричні рівняння не дають точних результатів при розгляді найближчої області дії УХ від джерела вибуху.

Напівемпіричні підходи базуються на спрощених моделях фізики явищ. Ці підходи зосереджені на моделюванні фізичних процесів значно спрощеним способом. Цей підхід значною мірою спирається на великі дані та тематичні дослідження, а точність, як правило, вища, ніж та, що забезпечується емпіричним підходом.

Чисельний метод або методу першого порядку включає в себе сукупність фізичних, математичних і чисельних методів, призначених для розрахунку характеристик проточних процесів. У цих методах математичні функції описують закони збереження маси, імпульсу і енергії. Динамічна поведінка матеріалів описується емпіричними залежностями, отриманими на основі експериментів, проведених на цих матеріалах. Методи підпадають під цю категорію: ФЕМ (Finite Element Method) - метод скінченних елементів, FDM (Finite-difference Method) - метод скінченних різниць і метод граничних елементів (BEM).

## **Висновки**

Аналіз статистики і результатів розслідування показує, що впливи, викликані вибуховими навантаженнями на будівлі і споруди, тягнуть за собою найсерйозніші наслідки.

З огляду існуючих підходів до оцінки параметрів ударних хвиль можна зробити висновок, що більшість з них засновані на результатах натурних експериментальних досліджень, результати яких знайшли відбиття в методології «тротилового еквівалента». Наявні в даний час засоби чисельного моделювання, засновані на математичних моделях, адекватно відображають поширення наслідків вибуху і УХ, дозволяють більш точно оцінити наслідки вибуху.

Детермінований підхід у визначенні вибухостійкості будівель за критерієм максимально можливого вибухового навантаження при зовнішньому вибуху дає результати з безпечними відстанями для баричного впливу. Однак проектування нових об'єктів з підвищеною енергоємністю вимагає обґрунтування відстаней з урахуванням застосування сучасних заходів захисту. Для нових, новозбудованих об'єктів, проектування яких здійснюється з урахуванням сучасного досвіду забезпечення надійності і запобігання аваріям, збільшення захисних функцій приведе до зменшення значень ризику.

## **2 РУЙНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ В РЕЗУЛЬТАТІ ДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ. АНАЛІЗ ШЛЯХІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ВІД ДІЇ ВИБУХУ**

### **2.1 Оцінка прояву стійкості будівель по відношенню до вибуху**

Детонаційний вибух характеризується можливістю значного тиску на вуглеводневий фронт і короткою тривалістю дії (десяті і навіть соті частки секунди). На практиці, де є ймовірність детонаційного вибуху, більшість будівельних конструкцій розраховують на навантаження від дії УХ. Якщо будівля знаходиться всередині детонаційного вибуху, то на нього впливає тиск детонаційної хвилі, який настільки великий, що звичайні конструкції не витримують його. Зміна надлишкового тиску при вибуху дефлагації протікає інакше, ніж при детонації: підвищення відбувається повільніше і максимальне значення менше, але тривалість більше. Тому таке навантаження ближче за своєю природою до статичного [21].

Структурний аналіз об'єктів, що піддаються вибухонебезпечним навантаженням, повинен проводитися:

1. На основне поєднання навантажень відповідно до вимог норм [22];
2. На особливу комбінацію навантажень, що складаються зі статичних (постійних і протяжних) і динамічних навантажень, викликаних вибуховими хвилями.

Спеціальна комбінація не враховує короткострокових навантажень, встановлених в нормах [22], тривале снігове навантаження враховується, якщо вона створює несприятливе поєднання сил. Коефіцієнти надійності навантаження для всіх врахованих навантажень враховуються рівними одиниці. Динамічним вважається навантаження, що наноситься нормально на поверхню конструкції і рівномірно розподіляється по її вантажному району.

Розрахунок структур на дію вибухових хвиль здійснюється методами структурної динаміки, в яких виділяють три основні напрямки [23]:

- чисельні методи високої точності з використанням діаграм деформації матеріалів " $\sigma$ - $\epsilon$ ", реалізованих в програмних комплексах;
- наближені динамічні методи, що дозволяють в результаті вирішення звичайних диференціальних рівнянь отримати аналітичні розрахункові залежності;
- спрощені методи розрахунку, засновані на використанні еквівалентних статичних навантажень, отриманих в результаті узагальнення даних динамічного розрахунку.

Чисельні методи включають в себе комплексні методи аналізу систем з багатьма ступенями свободи, які дозволяють оцінити реакцію елементів конструкції або складних систем. На відміну від аналітичних методів, на основі яких можна розрахувати тільки кінцевий стан структури, чисельні методи дозволяють отримати динаміку зміни стану структур в часі, яка необхідна для розрахунків граничних станів.

Перевага наближеного рішення полягає в тому, що воно дозволяє встановити ефект збільшення або зменшення будь-яких параметрів навантаження на напруги і деформації в структурі за допомогою графічних побудов. Часто для отримання рішення потрібно чисельне інтегрування рівнянь.

До спрощених методів відносяться методи приведення структур до систем з одним і двома ступенями свободи, використовувані для опису динамічної поведінки конструктивних елементів. Результати розрахунків можуть бути представлені графічно - на діаграмах подібності або в аналітичній формі. Спрощені методи засновані на інженерних наближеннях і схематизації конструктивних елементів об'єктів.

За результатами експериментального і чисельного аналізу повинні бути вжиті заходи щодо вибухостійкого проектування конструкції, що відповідають стандартам і підтверджують стійкість таких конструкцій до розглянутого рівня

загроз. Таким чином, аналіз дає впевненість в тому, що конструкція зможе витримати задані параметри вибуху.

## 2.2 Параметри меж деформації

Як вже говорилося вище, основним видом зовнішнього впливу на конструкцію є навантаження. При статичному навантаженні структура деформується і знаходиться в стані рівноваги, яке характеризується внутрішніми зусиллями і рухами. Напружено-деформований стан структури розглядається як фізичний процес. Збільшення навантаження на конструкцію можливо до тих пір, поки не буде досягнуто значення, що відповідає граничному стану конструкції по міцності. Таке значення навантаження називається вантажопідйомністю конструкції.

У динамічно навантажених структурах матеріал знаходиться, як правило, в складному напружено-деформованому стані, який змінюється з плином часу. Властивості, що проявляються в даному випадку, можуть істотно відрізнятися від статичного поведінки - при низьких деформаційних швидкостях. Труднощі при аналізі динамічних експериментів виникають у зв'язку з хвильовими процесами в зразках, коли інерційні сили накладаються на внутрішні сили, що характеризують властивості матеріалу.

У разі вибухонебезпечного навантаження максимальна динамічна реакція обмежується з метою запобігання руйнування складових частин конструкції (рис.2.1) і витримування вибухових навантажень шляхом вказівки критерію зміщення, побічно враховує допустимий рівень пошкоджень. У нормативних документах з обстеження та проектування будівель і споруд, що піддаються впливу вибухових навантажень [24], є вказівки виключити можливість руйнування основних несучих і огорожувальних конструкцій у вибухостійких будівлях. Допускаються пошкодження конструкцій випадкового характеру, які

не впливають на їх міцність, стійкість і деякі експлуатаційні характеристики, а також вимагають незначних матеріальних витрат на ремонтні роботи.

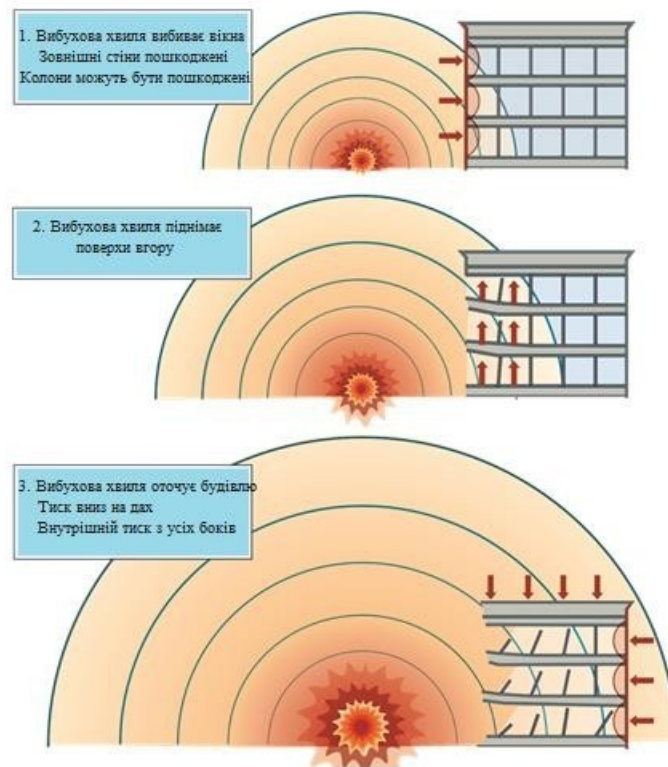


Рис. 2.1 - Схема, що показує послідовність пошкодження будівлі

Також інструкції про виключення можливості руйнування основних носіїв представлені в зарубіжному документі Комітету з вибухозахищеного проектування АСБЄ [25], експлуатаційні характеристики об'єктів, крім функціональності, повинні включати можливість подальшого використання після вибуху. Як зазначено в [25], основними критеріями реакції конструктивного елемента на динамічний ефект є коефіцієнт пластичності і відхилення від навантаження кут повороту балки (пластин / панелей). Коефіцієнт пластичності ( $\mu$ ) визначається як відношення максимального відхилення деформованого елемента ( $X_m$ ) до еквівалентного пружного відхилення ( $X_e$ ), формули (9). Коефіцієнт пластичності пов'язаний з пластичною деформацією, і передбачається, що руйнування конструкції відбувається, коли значення пластичної деформації наближається до значення деформації руйнування матеріалу. Графічне зображення зв'язку між напруженнями і

деформації матеріалу при навантаженні наведені на рисунку 2.2, де  $\mu$  - граничне значення опору.

$$\mu = \frac{\chi_m}{\chi_e}, \quad (2.1)$$

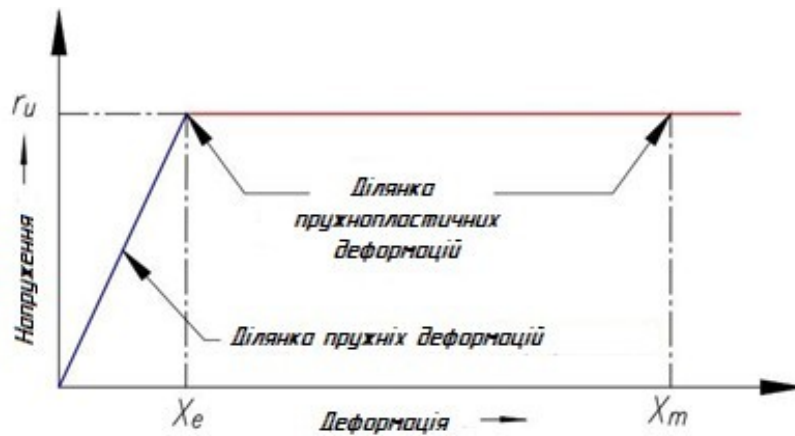


Рисунок 2.2 – Схема напружено-деформованого стану елемента

Кут повороту згинання балки від навантаження - ще один критерій реакції елемента, який співвідносить максимальний прогин з відстанню між прольотами конструкції і визначає ступінь нестійкості для критичних ділянок елемента. Кут повороту позначається символом  $\theta$  і визначається декількома способами (рисунок 2.3). Перший спосіб полягає в знаходженні кута,  $\theta_1$ , утвореного між лінією, що з'єднує кінцеві точки балки або опори, і лінією, що з'єднує кінцеву точку прогину і найближчу кінцеву точку балки. Другий спосіб - по сусідньому куту,  $\theta_2$ , утвореному між двома лініями, що відходять від точки максимального відхилення осі балки.

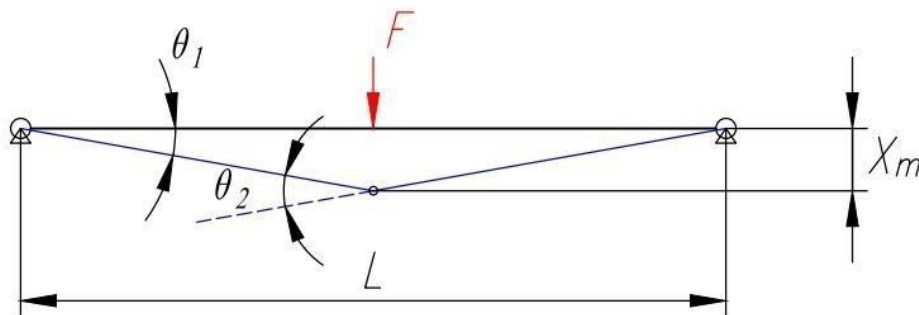


Рисунок 2.3 – Визначення кута повороту балки вигину від навантаження

$$\theta_1 = \arctg\left(\frac{2\chi_m}{L}\right) \quad (2.2)$$

$$\theta_2 = 2\theta_1, \quad (2.3)$$

Як приклад розглянемо діаграму напружено-деформованого стану (рис. 2.4) з граничними значеннями критеріїв реакції на динамічний ефект для сталеві пластины. Представлені діапазони критеріїв для трьох рівнів руйнування, які є загальними як для сталевих компонентів конструкції, так і для залізобетонних компонентів. Регіон  $-\ [X_e; X_1]$  відповідає низькому рівню руйнування, при якому стійке пошкодження компонента відсутнє або ледь помітне. В області  $-\ [X_1; X_2]$ , компонент піддається стійкій деформації, характеризується помірним пошкодженням. На ділянці з високим рівнем руйнування  $[X_2; X_3]$  компонент піддається значній деформації, після якої відновлення практично неможливо. Потім настає область руйнування, при якій компонент повністю втрачає свою структурну цілісність.

Граничні значення параметрів деформації для сталевих і залізобетонних компонентів вказані в додатку 5.В [25]. Прогнозовану реакцію елемента необхідно порівняти з коефіцієнтом пластичності  $\mu$  і максимальним кутом повороту  $\theta$ , щоб забезпечити перевищення жодного з цих значень.

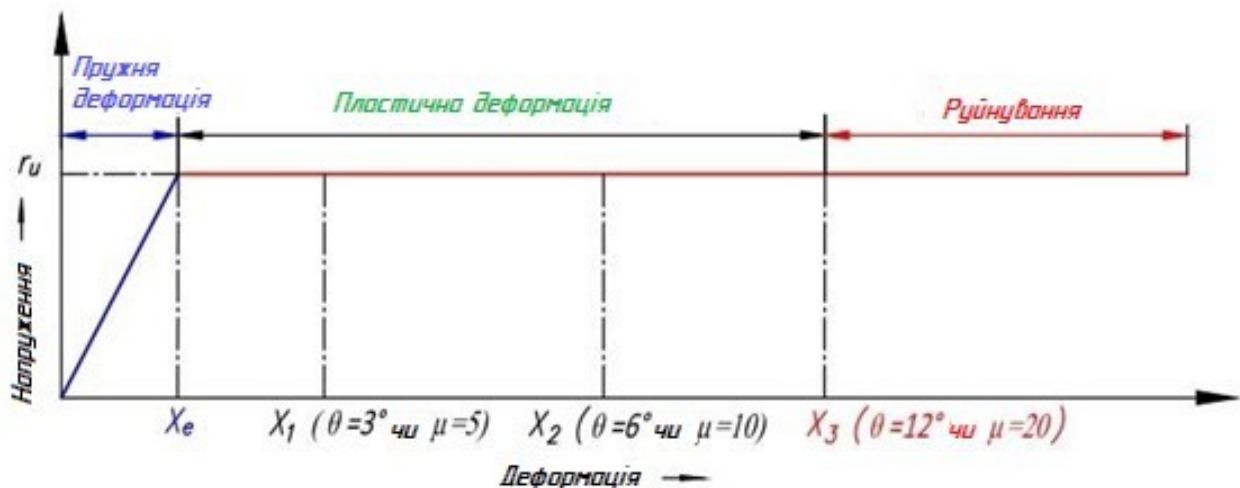


Рисунок 2.4 – Схема напружено-деформованого стану сталеві пластины з граничними значеннями критеріїв реакції

Так, значення коефіцієнта пластичності і кута повороту для різних матеріалів використовуються в якості критеріїв реакції при вибухозахищеному проектуванні.



### 2.3 Основні принципи вибухозахищеної конструкції

Вивчення наслідків численних бомбових атак на будівлі протягом останніх двох десятиліть поглибило знання та розуміння реакції структурної системи на вибуховий вплив. Це вказує на ряд характеристик структурних систем, матеріалів і конструкцій, які визначають опір будівлі при вибуховому навантаженні. У цьому розділі обговорюється природа цих вразливостей вибуху. Для конструктивних цілей розглядаються різні види навантажень і їх комбінації. До основних принципів вибухозахищеної конструкції можна віднести наступні:

1. Запобігання руйнуванню конструкцій при вибухах, що визначається як можлива при кількісній оцінці ризиків.
2. Охорона людей в будівлях з постійним перебуванням людей.
3. Основна несуча конструкція не повинна руйнуватися. Згідно з керівництвом [25], несуча конструкція повинна бути сконструйована таким чином, щоб на ній відбувалося тільки так зване середнє руйнування, тобто руйнування обшивки модулів і вторинних конструкцій.
4. Модулі/естакади/будівлі на технологічних установках, що примикають до монтажу, не повинні руйнуватися, а несуча конструкція повинна залишатися в еластичній деформації матеріалу. Якщо для забезпечення того, щоб несуча конструкція залишалася в зоні пружної деформації, потрібно більш важкі конструкції, ніж при проектуванні конструкції без забезпечення вибухостійкості, то, в залежності від обставин і за погодженням з власником ОПО, пластичні деформації можуть допускатися за умови, що вони забезпечують менше руйнування, як визначено в керівництві [25].

Метою інженера – проектувальника – є зниження можливого навантаження на будівлю при проектуванні. Цього можна досягти за рахунок правильного планування, проектування та розміщення будівель на доступній ділянці.

Встановлено, що форми будівель і розміри істотно впливають на розрахункову ударне навантаження. На основі досліджень і досвіду попередніх подій було помічено, що для зниження проектних навантажень слід уникати нормального відбиття. Дослідження впливу форми конструкцій на вибухові навантаження представлені в роботі [26]. Показано, що у випадку з квадратними і прямокутними секціями з довгими гранями спостерігається практично постійний пік відбитого тиску по всьому відкритому краю грані з нормальними відбиттями в центрі і регулярними відбиттями біля кутів будівлі. Крім того, квадратний край призводить до більш високого піку відбитого надлишкового тиску в порівнянні з довгим прямокутним. У разі структури круглої форми найвищий пік відбитого надлишкового тиску спостерігається в точці на кордоні, найближчому до вибуху, і де відбувається нормальне відбиття зі зменшенням величини в обидві сторони і сторони центру. Крім того, форма фасаду також впливає на навантаження, яку відчуває будівля в разі вибуху. Доведено, що параболічна форма або кубічна форма краще, ніж вертикальний фасад лицьової поверхні будівлі.

Конструктивні системи, що забезпечують безперервний шлях навантаження для всіх вертикальних і бічних навантажень, що діють на будівлю, вкрай бажані. Безперервний шлях навантаження пов'язує всі конструктивні компоненти між собою з'єднаннями. навантаження в кінцевому підсумку повинні бути перенесені на фундаменти вертикальні і траєкторії навантаження повинні бути безперервними від самого верхнього конструктивного компонента до фундаменту). Щоб забезпечити комплексний захист, ємність кожного компонента повинна бути збалансована з ємністю всіх інших компонентів і деталями з'єднання, які їх пов'язують.

Розрахункові вибухові навантаження (від проектної загрози) слід прикладати до зовнішніх стін і поверхонь даху для визначення проектних сил для елементів конструкції. Безперервний шлях навантаження переносить

навантаження, що діють на зовнішній фасад і дах будівлі через діафрагми підлоги, на самопливні і бічні системи опору навантаження (рисунк 2.5).

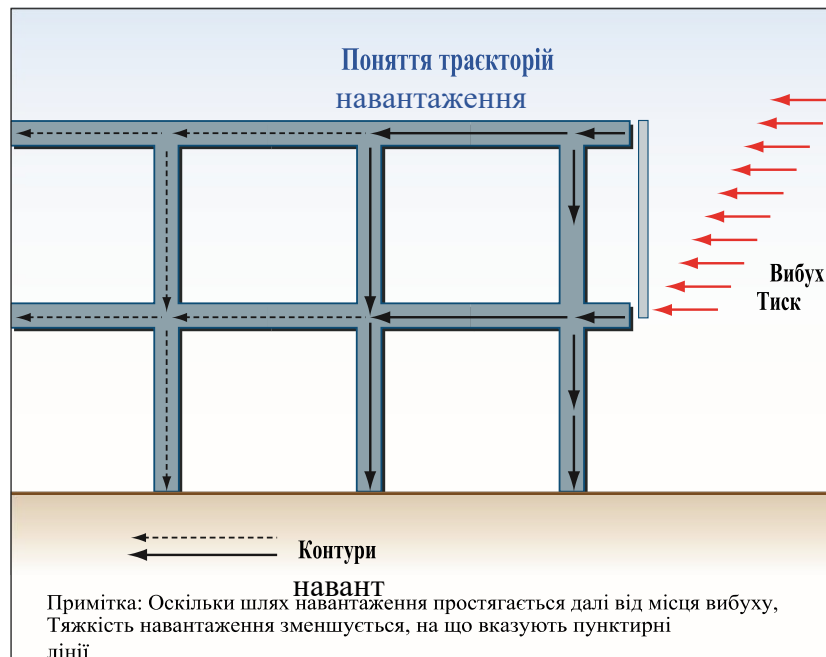


Рис. 2.5 – Траєкторії розподілення вибухового навантаження

Для проектування вибухостійкої конструкції необхідні хороші проектні та будівельні навички, а також знання характеристик УХ і поведінки конструкцій і їх елементів при вибухонебезпечних навантаженнях. Після визначення стану навантаження і вибору місця розташування інженер-конструктор бере участь у виборі необхідного типу конструкції, здатної витримати потенційний вибуховий ефект. Хоча всі види конструкцій забезпечують певний рівень вибухостійкості, існують більш підходящі конструкції в порівнянні з іншими [27].

Найважливішою особливістю вибухозахищеної конструкції є здатність поглинати енергію вибуху, не викликаючи загального катастрофічного руйнування конструкції. Будівельні матеріали у вибухозахищених конструкціях повинні бути досить гнучкими і міцними. Крім того, в разі вибуху через вибухове навантаження з одного боку будівля буде піддаватися впливу поперечної сили, внутрішньої сили, яка виникає в конструкції у відповідь на дію зовнішнього навантаження. Щоб конструкція показала максимальний рівень

вибухостійкості, її каркас і фундамент повинні витримувати таке велике поперечне навантаження. Ця вимога аналогічно вимогам, що пред'являються до сейсмостійкої конструкції. В цілому ряд сейсмостійких конструкцій в деякій мірі вибухостійкі. Компоненти вибухозахищеної конструкції повинні мати відповідний деформаційний потенціал для формування механізму гнучкості.

Залізобетон, як правило, вважається найбільш підходящим і економічним будівельним матеріалом для вибухозахищених конструкцій, особливо для об'єктів, розташованих поблизу потенційного джерела вибуху, де конструкції будуть піддаватися відносно високому надлишковому тиску і тепловому впливу при вибуху. Однак це не означає, що не можна проектувати будівлі з металевим каркасом або з настінним заповненням з листового металу, головна вимога в даному випадку полягає в тому, щоб вони розташовувалися на відповідній відстані від джерел небезпеки.

Для вибухозахищених конструкцій крихкий матеріал не підходить. Прикладами такого виду будівельного матеріалу є неармований бетон, цегла, дерево. Крім того, що вони вразливі до катастрофічних раптових руйнувань під час вибухового навантаження, такі матеріали після вибуху виробляють безліч осколків і уламків, які можуть завдати шкоди обладнанню і серйозних травм персоналу. Деревина і вироби з деревини, що застосовуються для промислових будівель, можуть бути джерелом пожежної небезпеки. Основним критерієм оцінки такої конструкції є характер руйнування при великих навантаженнях. Взагалі, крихкий матеріал повинен використовуватися тільки в зовнішній оболонці вибухостійкої конструкції з відповідним армуванням, для забезпечення пластичності і пластикового каркаса для поперечного опору конструкції при вибуховому навантаженні.

Елементи конструкції та їх з'єднання, можливо, повинні зберігати міцність, відчуваючи великі деформації у відповідь на вибухове навантаження. Пластичність відноситься до характеристики матеріалів, таких як сталь, які

можуть деформуватися і продовжувати нести навантаження, поки деформація не досягне своєї межі. У точці деформації матеріал поглинає енергію і відкладає абсолютний вихід матеріалу з ладу. Матеріал гнеться, але не ламається. Пластичність відноситься до опору силам і опорним навантаженням, хоча і з характеристикою зменшеної ефективності. Матеріали, які є експлуатаційними матеріалами і які можуть деформуватися, наприклад, такі як сталь – пластичні, залізобетон - крихкий. Рисунок 2.6 ілюструє пластичну поведінку в сталевій балці, яка деформується (відхиляється) продовжуючи нести навантаження до тих пір, поки зростаюче навантаження продовжує забезпечувати значну деформацію, досягає своєї межі. Підтримка, поки вона остаточно не зламається. Полімерні композити (ФАПи), армовані фіброю, в даний час широко використовуються за кордоном в якості конструкційних арматур замість металевих арматур залізобетонних плит, так як вони більш довговічні, стійкі до корозії і набагато зручніше в транспортуванні, використанні і монтажі. Найбільшою перевагою композитів FAP є їх здатність приймати задані властивості.

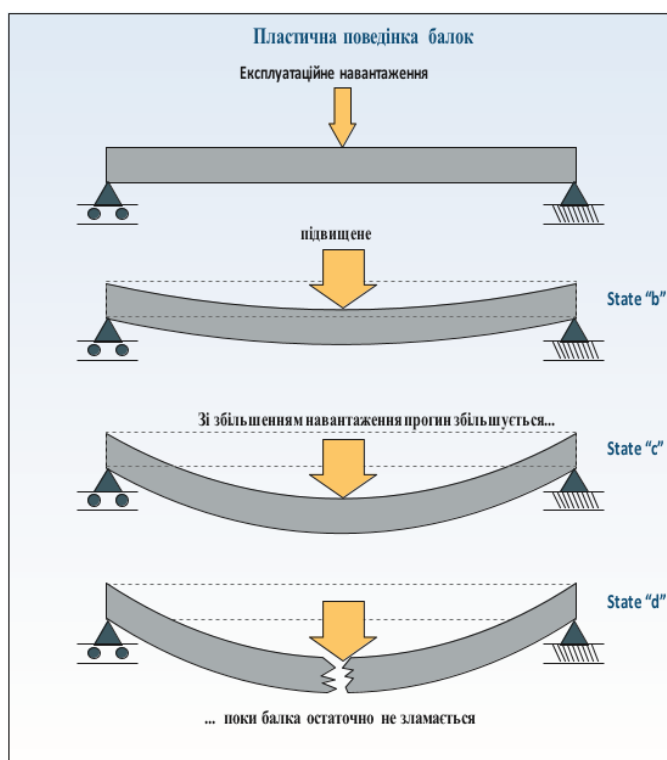


Рис. 2.6 – Пластична поведінка сталевій балки

Вони легко адаптуються до конкретних умов навколишнього середовища, на відміну від інших матеріалів, таких як сталь, мають низьку повзучість, легкість, високу міцність на розрив (в 10 разів вище, ніж сталь), відсутність корозії, і, таким чином, оптимальні в застосуванні. Процедура загартовування за допомогою композитів FAP не вимагає багато часу, проста за технологією, а сам матеріал робить будівлю більш вибухостійким. В основному до складу ФАП входять композитні матеріали на основі вуглецю, арамиду, базальту і скловолокна. Очевидно, що вартість композитів FAP, в порівнянні з іншими матеріалами, є перешкодою при прийнятті рішення про впровадження даної технології вибухозахисту. Однак пряме порівняння цін на одиницю товару може виявитися неправильним. Якщо монтаж і логістика включені у вартість, то вартість ФАП може корелювати нарівні зі звичайними матеріалами [28].

Бетонні елементи та з'єднання можуть бути деталізовані для досягнення пластичності за допомогою спеціально розробленої сталеві арматури, яка передбачає підвищену щільність сталеві арматури (порівняно з тим, що потрібно для перенесення вантажів) та ретельно контрольоване розміщення, як показано на рисунку 2.7. Зверніть увагу на щільну арматуру в безпосередній близькості від з'єднання. Плити перекриття піддають великі площі приток вибуховим навантаженням - для вибухівки, що вибухнула поблизу будівлі - які змінюються залежно від опору зовнішнього фасаду та висоти підлоги над землею. У тій мірі, в якій зовнішня оболонка чинить опір впливу зовнішньої детонації, внутрішня конструкція ізольована від повної інтенсивності тиску заповнення, тобто тиску, який надходить в будівлю при виході зовнішнього фасаду з ладу.

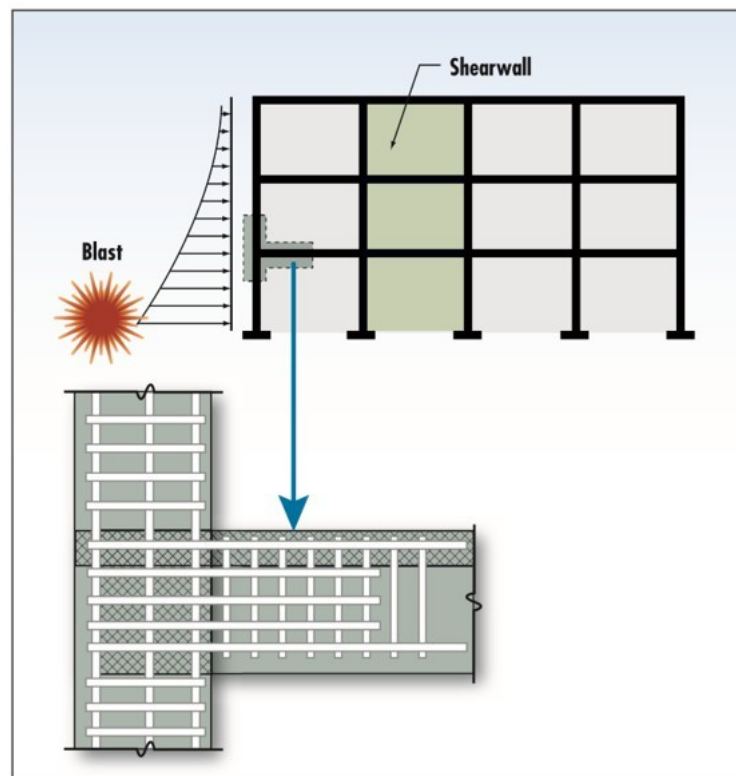


Рис. 2.7 – Додаткове армування вузлів залізобетонних елементів

#### 2.4 Загальні підходи до підвищення вибухостійкості

Проблема підвищення стійкості обладнання, будівель і споруд і забезпечення захисту персоналу від основного вражаючого фактора вибуху - дії вуглеводневого фронту стає все більш актуальною і сьогодні, адже більшість об'єктів цієї галузі експлуатуються ще з середини минулого століття. Вражаюча дія вибуху пов'язано з механічним впливом на конструкції і людей динамічного імпульсу у вигляді вибухової хвилі і розлітаючих осколків, з виділенням тепла, здатного викликати пожежі і з коливаннями ґрунту («ефект сейсмічного вибуху»). На підставі даних, наведених в [12, 28], була складена таблиця (табл. 2.1) для будівель і споруд, спеціально не призначених для дії ударних хвиль. За допомогою таблиці можна оцінити ступінь пошкодження конструкцій при різних значеннях ударно-хвильових навантажень.

Таблиця 2.1. Класифікація будівельних конструкцій за ступенем їх руйнування

Ступінь руйнування будівельних конструкцій	Ознака	Характер пошкодження		Обладнання	Тиск, кПа
		Будівельні конструкції будівель			
		Одно поверхових	Багато поверхових		
Слабке	Вибухи всередині приміщень без руйнування основних будівельних конструкцій та обладнання. Можливе продовження експлуатації будівлі після дрібного ремонту	Руйнування скління; відрив дверей, воріт; утворення тріщин на перегородках; розтин ЛСК		Незначні пошкодження вентиляційні каналів; Зміщення незакріпленого обладнання	до 3,5
Середнє	Часткове руйнування другорядних конструкцій та обладнання. Можна експлуатувати після відновлювальних робіт	Руйнування ЛСК, повне руйнування застелення; перекидання цегляних стін, легких перегородок; руйнування покриття при масі від 1 м <sup>2</sup> до 75 кг		Руйнування повітроводів, вентиляційних каналів	від 3,5 до 6
Підвищене	Часткове руйнування основних несучих будівельних конструкцій і значне руйнування обладнання. Експлуатація після відновлювальних робіт	Руйнування частини каркасу; руйнування дерев'яних будівель; утворення тріщин в блочних стінах; повне руйнування перекриття	Руйнування перегородок, покриттів на дерев'яних балках, перекриття	Часткове руйнування технологічного обладнання	від 6 до 12
Сильне	Сильне руйнування основних несучих конструкцій, залишкові деформації в металоконструкціях. Можлива експлуатація після значних реставраційних робіт	Значне руйнування несучих конструкцій; утворення тріщин в цегляних стінах	Руйнування цегляних самонесучих стін; деформації сталевих легкий каркасів	Сильне руйнування обладнання	від 12 до 20



Надзвичайно сильне	Руйнування цегляних і каркасних будівель. Експлуатація можлива тільки з будівлям монолітного залізобетону, з важким металевим каркасом, збірним залізобетонним підвищеною несучою здатністю	Руйнування кам'яних будівель, цегляних стін, сталевих каркасів, залізобетонних каркасів без підвищеної несучої здатності	Руйнування збірних залізобетонних конструкцій без підвищеної несучої здатності	Надзвичайно сильне руйнування обладнання	від 20 до 30
--------------------	---	--	--	--	--------------

За результатами розрахунків і оцінки показників вибухонебезпеки отримане значення частоти перевищення розрахункового тиску порівнюється з критерієм і робиться висновок про обґрунтованість проектних рішень. Для оцінки стійкості конструктивних елементів об'єкта проводяться додаткові розрахунки по розподілу тиску падаючої УХ на його поверхні.

При проектуванні конструкцій, здатних витримувати зовнішні вибухові та ударні навантаження, основною метою є захист присутніх в будівлі людей. Головне завдання - не допустити можливості катастрофічного руйнування всієї будівлі або його значної частини. Цей же принцип стосується і захисних пристроїв, сконструйованих у вибухозахищеній конструкції. Технічні рішення щодо підвищення вибухостійкості будівель повинні застосовуватися в тому випадку, коли проектна конструкція будівлі не забезпечує його вибухостійкість в передбачуваному місці, а перенесення будівлі неможливо з технологічних причин або економічно недоцільно.

Підвищення допустимих ударно-хвильових навантажень для будівель може бути досягнуто за рахунок підвищення вибухостійкості окремих конструктивних елементів будівлі або за рахунок посилення вибухозахисту (ПВЗ) будівлі в цілому.

Як активних, так і пасивних заходів ПВЗ простежується спрямованість захисної дії як в сторону придушення вибухів в закритому обсязі, так і придушення вибухів, що відбуваються на відкритій місцевості. Однак застосування АМЗ можливо тільки при локальних вибухах малої і обмеженої потужності. Застосування ПМЗ більш ефективно, адже при виникненні великих і масштабних виробничих аварій їх застосування дає можливість комплексно забезпечити збереження обладнання та споруд.

## **2.5 Аналіз існуючих видів заходів пасивного захисту**

Питання посилення вибухозахисту широко використовуються в таких галузях знань, як вибухові роботи в гірничодобувній промисловості і промисловості, протидія тероризму і цивільної оборони, військова справа, промислове і цивільне будівництво.

Заходи пасивного захисту у вигляді перерахованих вище способів - це способи зниження інтенсивності УХ в момент її утворення шляхом зведення на її шляху вибухозахисних бар'єрів, за допомогою яких зменшують дію найбільш ймовірних вибухів. Основними причинами загасання УХ в підземних гірничих виробках і каналах є розсіювання енергії в повітрі і тертя повітря об поверхню видобувної продукції [29]. На сьогоднішній день в країнах ближнього зарубіжжя використовуються водні і сланцеві бар'єри в якості основних засобів пило- і вибухозахисту, вони є найбільш поширеними і досить простими в конструктивному оформленні. Вибухово-масштабуючий ефект водного і сланцевого бар'єрів полягає в створенні вогнегасного середовища на шляху фронту поширюваного полум'я (ФП) від вибуху вугільного пилу, що представляє собою хмару розпорошеного вогнегасника (води, інертного пилу), яке утворюється при оголенні бар'єру УХ від вибуху.

Ефективність реалізації дії вибухонебезпечних загороджень забезпечується при дотриманні декількох умов. По-перше, необхідно здійснити повне переведення всієї маси інертного пилу або води в підвішений стан, а по-

друге, збереження інертного пилю (води) в підвішеному стані до приходу АФ. Перша умова буде виконано, коли модель загороджень, що представляє собою конструкцію шельфів, розташованих особливим чином, буде найбільш податливою і легкою в руйнуванні, а саме розташування загороджень знаходиться на оптимальній відстані від місця виникнення вибуху або входу АФ в виробки (від 100 до 220 м). Для створення надійної локалізації пилових вибухів необхідно 50-150 кг інертного пилю на 1 м поперечного перерізу виробок. Відповідно, чим ближче розташований бар'єр до ймовірного місця виникнення вибуху, тим більше потрібні вагові навантаження. Друга умова досягається шляхом вибору оптимальної відстані між самими бар'єрами, яке зазвичай становить 2-3 м, а час життя хмари - 0,4-0,6 с. Ефективна робота сланцевих бар'єрів забезпечується при швидкості  $FP \ VFP = 80 - 235 \text{ м / с}$ .

Однак порівняльна простота конструкції не гарантує ефективності сланцевих бар'єрів.

Незважаючи на теоретично і експериментально доведені переваги використання водяних бар'єрів в якості пристроїв зниження тиску на вуглеводневому фронті, застосування даного типу пристроїв для захисту житлових об'єктів нераціонально. Перший аргумент проти полягає в тому, що розміри захисних засобів у вигляді гідравлічної перемички не дозволяють розміщувати їх в безпосередній близькості від джерела вибуху в умовах міської забудови. Другий вагомий аргумент - неефективність руйнування гідравлічних бар'єрів на відкритій місцевості в разі об'ємних вибухів хмар ТВС. Важливим фактором є неможливість використання таких бар'єрів взимку.

У сфері безпеки застосовуються і такі методи цивільної оборони, як запобігання і пом'якшення наслідків надзвичайних ситуацій, швидке реагування та екстрена евакуація в разі загрози вибуху, пожежі, хімічних атак, підготовка і планування заходів щодо ліквідації наслідків. Широко розглядаються в роботі питання захисту будівель і людей від вражаючих факторів вибуху [30], в якій

сформульовані основні вимоги до укриттів цивільної оборони як ефективного засобу забезпечення безпеки в разі техногенної або військової загрози. Класифікаційні особливості укриттів визначаються рядом параметрів, на підставі зразка яких приймаються конструктивні рішення щодо захисного укриття, що представляє собою конструкцію бункерного типу. Динамічне навантаження від дій УХ в основному припадає на передню стінку моделі укриття, в результаті зустрічі хвилі стиснення з такою перешкодою відбувається її відбиття, забезпечуючи таким чином безпеку людей всередині нього.

Застосування моделей захисних пристроїв у вигляді укриттів використовується в цивільному будівництві і направлено на виконання основної функції - захисту людей від вражаючих факторів вибуху, але такі окремо стоячі конструкції не забезпечують безпеку інших прилеглих об'єктів, а, навпаки, можуть посилювати вплив факторів вибуху.

До недавнього часу наука про цивільну оборону в основному розглядала питання забезпечення безпеки населення від можливих засобів масового ураження, таких як вибух ядерної зброї, дія токсичних речовин і бактеріальних агентів, в даний час тероризм і екстремізм займають перше місце серед можливих загроз безпеці.

Загроза терористичних актів в повній мірі вимагає здійснення заходів щодо захисту стін будівель і споруд різного функціонального призначення від вибухів різного масштабу. Найбільш ефективними технічними засобами захисту стін від вибухів великої потужності називають наступні системи [31]:

Система № 1: Балістична тканина з енергопоглинаючими якірними елементами (ЕАЕ) - забезпечує високий рівень вибухостійкості;

Система № 2: металеві панелі з ЕАЕ – гарантує високий рівень вибухостійкості;

Система № 3: металеві панелі з ЕАЕ в поєднанні зі сталевією сіткою — забезпечує максимальний рівень вибухостійкості.

У разі локального або внутрішнього вибуху найбільш ефективні запропоновані види конструкції, але такі засоби захисту не мають необхідного захисту при впливі хвилі вибуху на всю будівлю.

Військова наука також розглядає питання забезпечення безпеки від впливу ударно-хвильових навантажень. Наука про штучні замикання і фортифікаційних загородженнях - пропонує використовувати в якості засобів захисту найпростіші конструкції відкритого типу: траншеї, ущелини, траншеї і ходи з побудованими над ними зволоженими цокольними поверхами, які значно знижують вражаючу дію УХ. Але такі методи не можна використати для захисту будівель міського середовища.

### **Висновки**

Проектування вибухостійких конструкцій будівель і посилення існуючих - це заходи, які повинен вжити власник, щоб мінімізувати ризик загибелі людей, а також ризик руйнування через загрозу вибухів під час бойових дій.

У даній главі аналізуються основні вимоги норм і правил, інструкцій з техніки безпеки, міждержавних стандартів для обґрунтування стійкості будівель і споруд при вибухових навантаженнях. Наведено узагальнені принципи вибухозахисту. Розглянуто методи підвищення стійкості будівель. Встановлено, що рекомендації щодо обґрунтування вибухостійкості будівель і споруд базуються на методах кількісного аналізу ризику вибуху. Проаналізовано засоби ослаблення дії ударних хвиль з різних галузей знань з точки зору їх застосовності до існуючих об'єктів міської забудови.

Встановлено, що важливим завданням у вибухозахищеному проектуванні є збереження структури будівлі шляхом виключення можливості прогресуючого обвалення. Цього можна досягти, дотримуючись основних рекомендацій з проектування вибухостійких конструкцій: розрахунок і аналіз ключових елементів конструкції, без яких будівля не здатна витримати сильне навантаження від високого тиску; створення альтернативних способів дії

навантаження, завдяки чому при втраті одного конструктивного компонента будівля витримає; застосування в'язучих речовин на основі полімерних композитів з метою зміцнення конструкції для підтримки стійкості, гнучкості і міцності конструкції. З урахуванням перерахованих вище параметрів можуть бути підібрані відповідні матеріали і відповідні стратегії проектування, які дозволять знизити наслідки вибуху.

Однак за результатами аналізу можна зробити висновок, що на даний момент відсутній захисний пристрій, здатний ефективно знижувати інтенсивність падіння УХ і міг би задовольнити вимоги до його розміщення в умовах щільної забудови міст. Одним з напрямків забезпечення вибухостійкості будівель і захисту людей в них є створення захисної споруди комбінованого типу, яка поглинає енергію УХ при вибухах боеприпасів.

### **3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧОЇ УДАРНОЇ ХВИЛІ ПРИ ВИБУХАХ**

#### **3.1 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. При інтенсивному вибуховому впливі конструкція такого захисного щитка може відчувати деформації, в тому числі і незворотні. У роботі Гельфанда Б.Е., Сильнікова М.В. [32] встановлено: «... При нанесенні ударно-хвильового навантаження на конструкцію з пористими стисливими покриттями змінюється характер навантаження. При відсутності пористого покриття конструкція навантажується квазістатично, а наявність покриття призводить до виникнення імпульсної складової, яку необхідно враховувати при розрахунках на міцність» [33, с. 15].

Розміщення екранів з високопористих матеріалів на поверхні захищених конструкцій при впливі ударних хвиль може привести як до зниження, так і до підвищення максимального тиску навантаження. Відповідні експериментальні дані наведені в таблиці 3.1. [34, 35].

З таблиці 3.1. випливає, що застосування екранів з пінопласту низької щільності товщиною до 70 мм призводить до збільшення амплітуди відбитого від бар'єру УХ. Для ослаблення УХ необхідні екрани товщиною 100...150 мм.

Ефект посилення УХ пояснюється таким чином, що в результаті впливу УХ пористий матеріал прискорюється і ущільнюється.

Таблиця 3.1 – Значення параметрів навантаження перешкод в залежності від складу і товщини екрану

Екранна композиція	Товщина екрану, мм	Максимальний тиск МПа	Тривалість фази стиснення УХ, мкс	$K_{\text{відб}}$
Без екрану	0	5,8	225	1
Пінополістирол, $\rho=40 \text{ кг/м}^3$	30	13,0	128	2,24
	50	9,3	100	1,60
	60	8,6	240	1,48
	70	7,6	630	1,31
	100	1,92	1060	0,33
	150	1,12	1260	0,19
ДСП, $\rho=170 \text{ кг/м}^3$	60	1,14	-	0,20
Екранна композиція	Товщина екрану, мм	Максимальний тиск МПа	Тривалість фази стиснення УХ, мкс	$K_{\text{відб}}$
ДСП, $\rho=183 \text{ кг/м}^3$	60	1,6	-	0,28
ДСП, $\rho=260 \text{ кг/м}^3$	60	0,9	-	0,16
Одношаровий: сталь (4мм) + поролон (60мм)	64	0,28	2160	0,05
Два шари: сталь (2.5мм) + поролон (60мм)	65	0,58	5000	0,10
Три шари: сталь (2.5мм) + поролон (30мм)	97,5	0,65	2690	0,11

Швидкість  $u$ , набуту екранним матеріалом для трикутного профілю тиску падаючого УХ, можна оцінити до першого наближення за допомогою залежності:



$$u = \frac{k_{отр1} \cdot P_+ \cdot \tau_+}{2 \cdot \rho_0 \cdot H}, \quad (3.1)$$

де  $k_{отр1}$  - коефіцієнт відбиття УХ від пористого екрану;  $P_+$  і  $\tau_+$  - амплітуда і тривалість фази стиснення УХ;  $\rho_0$  - початкова щільність матеріалу екрану;  $H$  - товщина пористої ширми.

Завантаження захищеної конструкції відбувається в результаті гальмування на її поверхні ущільненого екрану. Отриманий максимальний тиск  $P_{max}$  в акустичному наближенні можна визначити по співвідношенню (3.2).

$$P_{max} = \rho \cdot u \cdot c = \frac{\rho}{\rho_0} \frac{k_{отр1} \cdot P_+ \cdot \tau_+ \cdot c}{2H}, \quad (3.2)$$

де  $\rho$  - щільність ущільненого матеріалу екрану;  $c$  - швидкість звуку в конденсованому матеріал екрану.

Порівняти тиск  $P_{max}$  з тиском  $P_{отр}$ , відбитим від поверхні вуглеводневої структури при відсутності екрану, можна за допомогою коефіцієнта  $K_p$ :

$$K_p = \frac{P_{max}}{P_{отр}} = \frac{\rho}{\rho_0} \frac{k_{отр1} \cdot \tau_+ \cdot c}{k_{отр2} \cdot 2H}, \quad (3.3)$$

де  $k_{отр2} = P_{отр} / P_+$  - коефіцієнт відбиття УХ від жорсткого бар'єру. Залежно від параметрів навантаження УХ і характеристик екрану коефіцієнт  $K_p$  може бути як більше (посилення УХ), так і менше (ослаблення УХ) одиниць.

Критичну товщину екрану, починаючи з якої екран послаблює УХ, можна дізнатися з попереднього співвідношення, взявши  $K_p = 1$ :

$$H_{кр} = \frac{\rho}{\rho_0} \frac{k_{отр1} \cdot \tau_+ \cdot c}{k_{отр2} \cdot 2}, \quad (4.4)$$

За отриманою залежністю критична товщина екрану лінійно залежить від тривалості фази стиснення УХ  $\tau_+$ . Цей висновок підтверджується експериментальними даними, наведеними в таблиці 4.2, відповідно до значень, зазначених в роботах [32, 34]: при збільшенні значення  $\tau_+$  з 130 до 1300 мкс значення  $H_{кр}$  збільшується з 87 до 850 мм. Що стосується залежності критичної

товщини екрану від амплітуди УХ, то вона виходить нелінійною: при збільшенні амплітуди УХ в 10 разів значення  $H_{кр}$  збільшується приблизно в 6 разів.

Таблиця 3.2 – Значення критичної товщини захисних екранів з пінопласту в залежності від значень параметрів навантаження УХ

п/п	Параметри УХ		Критична товщина екрану, мм
	Амплітуда, МПа	Тривалість фази стиснення, мкс	
1	6,6	130	87
2	6,6	1300	850
3	10,0	130	18
4	6,6	130	112

ДСП, яка щільніше пінної стружки, ефективніше знижує максимальний тиск навантаження (табл. 3.1).

Багатошарові екрани зі сталевого листа і шару пінопласту мають хороші захисні властивості (табл. 3.1). Вони значно знижують максимальний тиск навантаження і збільшують тривалість фази стиснення УХ  $\tau_+$ . Ця обставина дає можливість в ряді випадків перетворити навантаження на конструкцію з імпульсного ( $T \gg \tau_+$ , де  $T$  - період власних коливань структури) в квазістатичну силу ( $T < \tau_+$ ) і тим самим підвищити вибухостійкість конструкції [35].

У роботі [36] при вирішенні проблеми відбиття УХ в пористому пружному матеріалі були виявлені режими, при яких відбиття УХ не відбувається. При цьому вся енергія падаючої УХ перетворюється в теплову енергію за рахунок розсіювання при в'язкому витоку порожнин [37].

При експлуатації і проектування житлових будинків міст України, для енергоефективності використовують утеплення зовнішніх стін, товщина якого вибирається відповідно кліматичного району, необхідних показників всередині будівлі і вимог чинних нормативних документів.

В якості утеплювача використовують сипкі утеплювачі – керамзит, вермикуліт, перліт мінеральну вату, базальтову вату, спінені полімери – пінополістирол, пінопласт, пінополіуретан. Разом з виконанням основної

функції, такі системи можуть виконувати і додаткову функцію в умовах надзвичайного стану – зменшувати вплив вибухової повітряної хвилі на матеріали огорожуючих конструкцій будівлі.

### 3.2 Розробка конфігурації моделі захисного пристрою

Розташування в безпосередній близькості від небезпечних об'єктів будівель і споруд, в яких знаходиться персонал, зумовлює необхідність підвищення вибухостійкості таких будівель. Одним з ефективних засобів захисту від наслідків вибуху стане спорудження захисного бар'єру на шляху ударної хвилі. Ключовою стратегією зниження наслідків вибуху при такому способі захисту стане створення захисного пристрою у вигляді комбінованого екрану. Основна функція екрану полягає в тому, щоб енергія вибухової речовини не потрапляла на об'єкт захисту. Термін «пристрій» в даному випадку може бути застосовано як структура з певним розташуванням, її складовими елементами, їх взаємозв'язком.

Пристрій екрану вибухової ударної хвилі являє собою захисний бар'єр - стіну навколо конструкції, який допомагає розсіювати енергію, а також збільшує відстань протистояння від вибухонебезпечної загрози і, таким чином, або повністю виключає, або знижує тиск, викликаний вибухом. Конструкція захисного пристрою являє собою багат шарову модель, що складається з матеріалу огорожуючих стін і конструкції утеплення, що утворюють енергопоглинаючий одиночний екран. Енергопоглинаючий екран - заслінка з вставок (легких, пористих матеріалів), що забезпечують зниження тиску на невідображену частину фронту ударної хвилі при його проходженні. За своєю комплектацією модель має вигляд просторової структури з лабіринтовим розташуванням одиночних енергопоглинаючих екранів.

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 матеріалу в шарі теплоізоляційних вставок послаблюється амплітуда тиску, з огляду на що значно знижується ударне навантаження на конструкцію, в сукупності двох факторів забезпечується стійкість будівлі і, як наслідок, безпека персоналу.

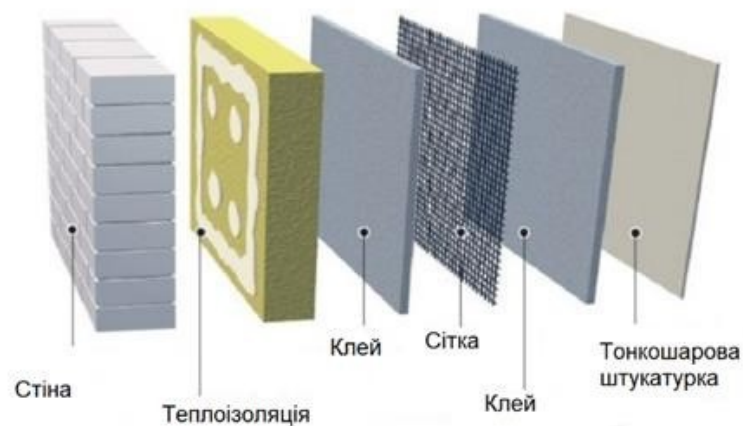


Рис. 3.1 – Конструкція зовнішньої стіни

Досвідом попередніх досліджень встановлено, що при дослідженні звукових хвиль, що наздоганяють УХ разом з ентропійними і вихровими збуреннями, спостерігається ефект посилення УХ за рахунок відносно слабких звукових хвиль [3]. У роботі [38] експериментально встановлено, що поблизу критичного кута падіння амплітуда УХ-коливань під дією акустичних збурень досягає максимальних значень. Наведені вище твердження і загальновідомі положення про зменшення амплітуди УХ на відстанях і переході її на слабкий (звуковий) сигнал [39] підкреслюють доцільність використання методів поглинання енергії, що застосовуються в технічній акустиці. Далі ми докладніше розглянемо енергопоглинаючі властивості теплоізолюючих вставок.

### 3.3 Дослідження ефективності теплоізолюючих вставок

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 нижче.

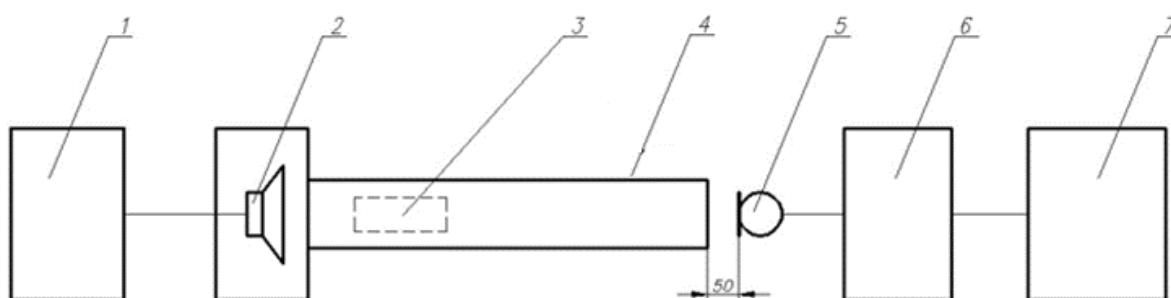


Рис. 3.2 – Схема експериментальної установки

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



Рис. 3.3 – Фото стенду експериментальної установки

Експериментальним шляхом були протестовані вставки 3-х типів, що відрізняються розмірами і звукопоглинаючим матеріалом. Звукопоглинальний матеріал підбирався виходячи зі значень коефіцієнта звукопоглинання  $\alpha$ . Ефективність звукопоглинання тим більше, чим ближче значення звукопоглинання до одиниці.

На рисунку 3.4 представлені матеріали наступних зразків: 1 – базальтова вата; 2 – поролон; 3 – пінопласт.



Рис. 3.4 – Досліджувані матеріали

Експериментальним шляхом були протестовані вставки 3-х типів, що відрізняються розмірами і звукопоглинаючим матеріалом. Звукопоглинальний матеріал підбирається виходячи зі значень коефіцієнта звукопоглинання  $\alpha$ . Ефективність звукопоглинання тим більше, чим ближче значення звукопоглинання до одиниці.

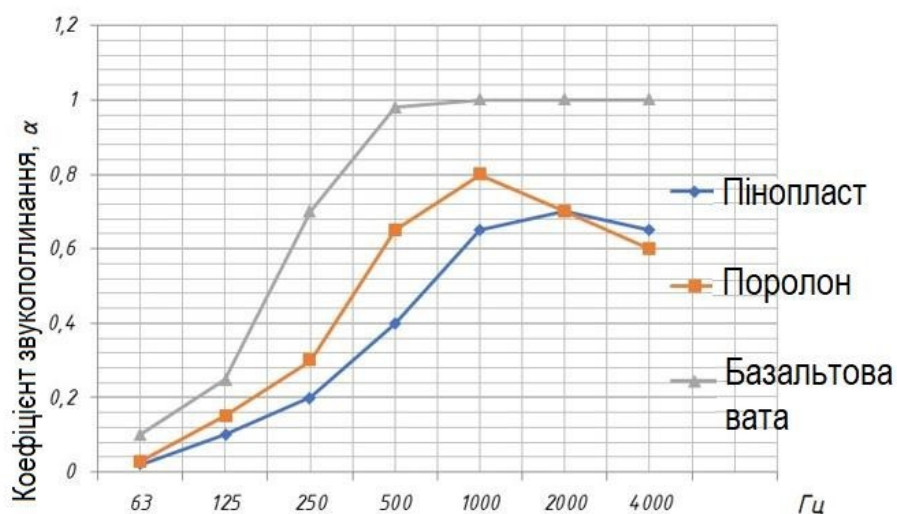


Рис. 3.5 – Коефіцієнт поглинання  $\alpha$  в октавних смугах із середніми геометричними частотами

Результати експерименту з вивчення ефективності дисипативних вставок з пінопласту і базальтового волокна різного діаметру наведені нижче (рисунок 3.6).

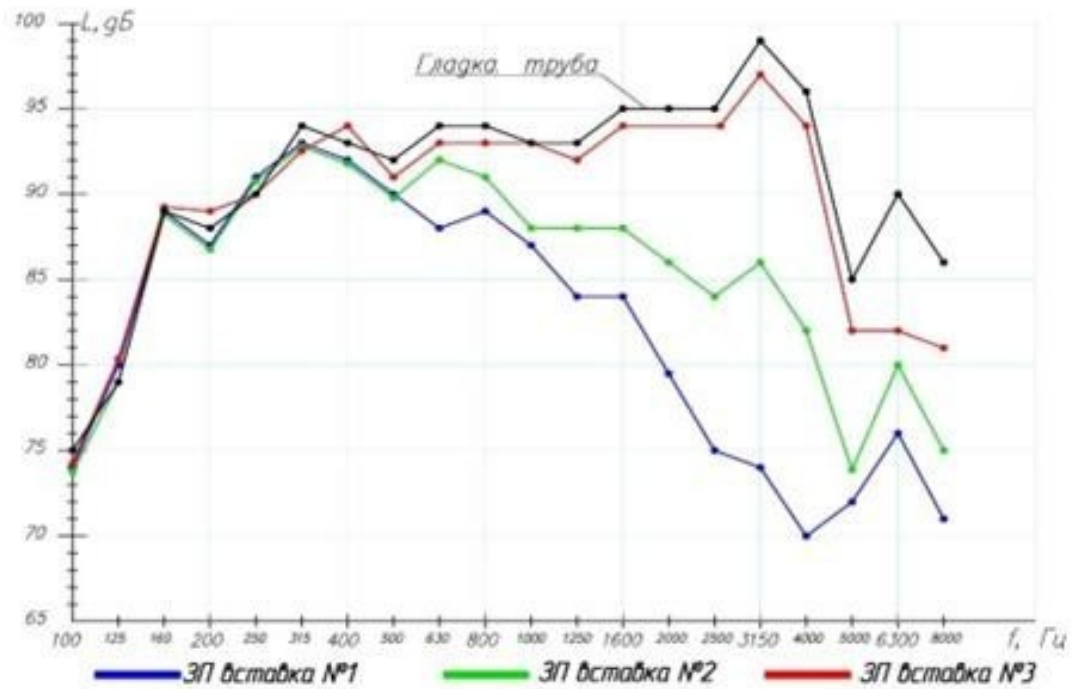


Рис. 3.6 – Дослідження ефективності пористих вставок

ЗП вставка №1 – з базальтового волокна; ЗП вставка № 2 - поролон; вставка ЗП № 3 – вставка з пінопласту.

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 більшого базальтового волокна має найбільшу ефективність, а значить, і кращі властивості в розсіюванні енергії.

Таким чином, експериментально було проведено дослідження властивостей використовуваних в якості теплоізоляції 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 базальтоволоконних вставок в конструкції екрану для захисту від ударної хвилі.

### 3.4 Пропозиції щодо конструкції захисного екрану

#### *1. Пристрій для захисту конструкцій від вибухової ударної хвилі*

Корисна модель відноситься до техніки захисту конструкцій від вибухових ударних хвиль в повітряному середовищі і може бути використана для часткового гасіння вибухової хвилі, утвореної при можливих аварійних ситуаціях та захисту елементів будівлі з постійним перебуванням людей.

Вибух може призвести до значного пошкодження або обвалення будівель чи їхніх частин. У зв'язку з цим вікна, віконні отвори чи фасади є найбільш вразливою конструкцією будівель.

Відомий пристрій для гасіння повітряних ударних хвиль при вибухових роботах, у вигляді гнучкої ковдроподібної структури з високоміцних волокон, в якій сформовані порожнини або камери, які заповнені порожнистими тілами (патент EP1229298A1, МПК F42D 5/045, опубл. 10.03.1995 р.).

Недоліком такого пристрою є низька щільність перешкоди, що призводить до великих об'ємів пристрою при його використанні, крім того, виробництво порожнистих тіл у виді пустотілих сфер, заповнених повітрям, пов'язане з технологічними труднощами. Даний пристрій має обмежені експлуатаційні можливості та неприйнятний для захисту елементів будівлі від вибухової хвилі.

Відомий пристрій для демпфування ударної хвилі при вибуху, що включає корпус напівсферичної форми (що має кривизну), виготовлений з кількох шарів композитного текстильного матеріалу, є надувним і має спінений матеріал між зовнішньою і внутрішньою оболонками та залежно від загрози має додаткові балістичні шари. (європейський патент EP 1036299 B1, кл. F42D 5/045, опубл. 1999.06.24).

Недоліком відомого пристрою є можливість його використання тільки для захисту конструкцій будівель від боєприпасів, які не вибухнули.

Найбільш близьким є пристрій для захисту конструкції від ударного впливу вибухової речовини у вигляді конструкції з безлічі амортизуючих



елементів, встановлених у заповнених водою амортизуючих отворах, кожен з амортизуючих гумових елементів складається з зовнішнього водонепроникного гумового циліндра та внутрішнього шару сипучого пломбувального матеріалу (патент CN108716880A, МПК F42D //00, опубл. 30.10.2018 р.).

Недоліком цієї конструкції є невисока ефективність захисту від дії ударної хвилі, оскільки вона не забезпечує розсіювання ударної хвилі, крім того, панель характеризується складністю виготовлення, великою витратою матеріалу і неможливістю пропускати світло, що важливо при експлуатації, наприклад, вікон будівлі.

В основу корисної моделі поставлено задача розробки пристрою для захисту конструкцій (наприклад вікон) від вибухової ударної хвилі у вигляді конструкції з безлічі амортизуючих елементів, в якому за рахунок зміни конструкції забезпечується відведення напрямку ударної хвилі та зменшення сили впливу на конструкцію і досягається можливість пропускати світло.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для захисту конструкцій від вибухової ударної хвилі у вигляді конструкції з безлічі амортизуючих елементів, містить раму, між бічними сторонами якої рівномірно по висоті і паралельно одна до одної закріплені прозорі пластикові труби внутрішнього шару, з кроком, залежним від розмірів рами та діаметру труб, які призначені для забезпечення стійкості пристрою до вигину шляхом встановлення з нерухомозатисненими кінцями та зовнішнього суцільного шару прозорих пластикових труб, частково заповнених водою, жорстко закріплених на рамі верхніми кінцями, і вільними нижніми кінцями.

Корисна модель пояснюється кресленням (рис. 3.7). Пристрій для захисту конструкцій від вибухової ударної хвилі складається з рами 1, прозорих (наприклад ПВХ) пластикових труб внутрішнього шару 3, розміщених між бічними 2 сторонами рами 1 та прозорих пластикових труб зовнішнього шару 4, частково заповнених водою 5. Пластикові труби внутрішнього шару 3 жорстко закріплені до бічних сторін 2 рами 1 і розташовані з кроком, який забезпечить захисну роботу пластикових труб зовнішнього шару 4.

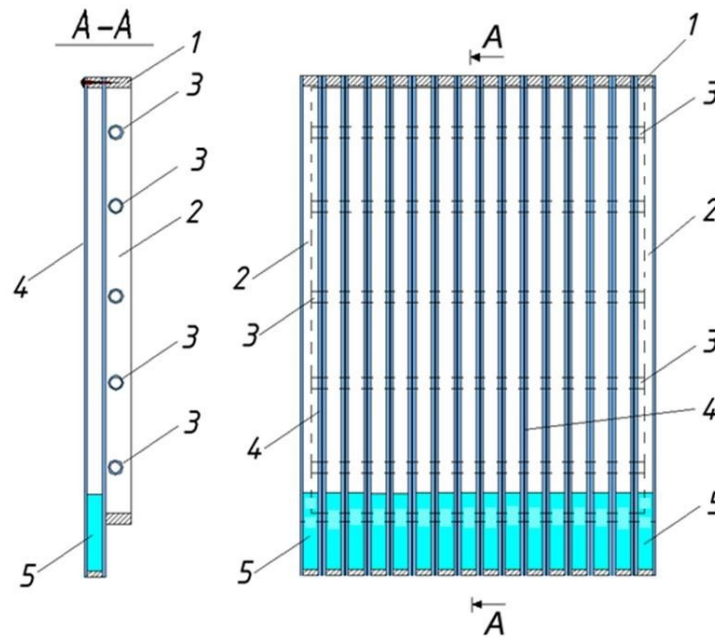


Рис. 3.7 - Пристрій для захисту конструкцій від вибухової ударної хвилі

Розміщення на шляху руху вибухової ударної хвилі між об'єктом захисту і джерелом вибуху пристрою запропонованої конструкції у вигляді перешкоди з двох шарів прозорих пластикових труб, дозволяє скоротити силу впливу ударної хвилі на об'єкт захисту. Навантаження від ударної хвилі розподіляється по зовнішньому шару прозорих пластикових труб за рахунок аеродинамічного опору, пластичного деформування прозорих пластикових труб 3, 4 в газоповітряному середовищі та опору внутрішнього шару прозорих пластикових труб, закріплених на бічних сторонах 2 рами 1, що призводить до підвищення несучої здатності пристрою.

Пристрій застосовують наступним чином. Рама 1 вставляється в віконний проріз зовні через віброгасну прокладку (на кресленні не показано). При вибуху енергія ударної хвилі поглинається еластичними пружними оболонками прозорих пластикових труб 4 і 3 і водою 5 в зовнішніх прозорих пластикових трубах 4. Енергія ударної хвилі, що проходить через рідину, витрачається на утворення турбулентних потоків, диспергування і розліт крапель рідини, що утворюються. При цьому вона гаситься за рахунок сил поверхневого натягу та в'язкості. В процесі експлуатації не зменшується природна освітленість вікон.

Таким чином, запропонована корисна модель дозволяє підвищити ефективність захисту об'єкта від вибухової ударної хвилі.

## *2 Пристрій для захисту від ударних повітряних хвиль*

Корисна модель відноситься до техніки захисту від вибухових ударних хвиль в повітряному середовищі і може бути використана для часткового гасіння вибухової хвилі, утвореної при можливих надзвичайних ситуаціях та захисту елементів будівлі за рахунок зниження інтенсивності впливу ударної повітряної хвилі вибуху.

Відомий пристрій для поглинання вибухової хвилі стиснення що містить ємність, заповнену газом або повітрям під тиском нижче тиску навколишнього середовища (під вакуумом). Пристрій розташовують поблизу об'єкта або споруди, що охороняється, в атмосфері або під водою. Коли вибухова хвиля стиснення досягає пристрою, відповідно до різних варіантів здійснення винаходу, контейнер руйнується, розривається або його внутрішня частина з'єднується з навколишнім середовищем через розривну діафрагму або швидкодіючий клапан. Повітря навколишнього середовища починає заповнювати внутрішні частини контейнера, створюючи хвилю негативного тиску, яка перешкоджає хвилі стиснення вибуху та створює результуючу хвилю тиску зі зниженим тиском та імпульсом, що впливає на об'єкт або конструкцію, що підлягає захисту (патент US20060027419A1, МПК В64F 1/26, опубл. 9.02.2006).

Даний пристрій має обмежені експлуатаційні можливості та низьку ефективність через обмежені розміри ємностей під вакуумом.

Відомий пристрій для ослаблення ударних хвиль, що містить два гнучкі листи з поглибленнями, розміщених один поверх іншого і з'єднаних безліччю розташованих навколо поглиблень швів так, що поглиблення утворюють осередки, при цьому осередки заповнені матеріалом, що послаблює удари і здатен поглинати або зменшувати енергію ударних хвиль, який є текучою речовиною, що має опір до ударних навантажень, або матеріал у формі твердих частинок, що має об'ємні механічні властивості та властивості текучості рідини, а згадані листи виконані з пористого матеріалу, здатного пропускати ударну хвилю в комірці, і мають гнучкість, достатню для того, щоб пристрій міг

прийняти форму об'єкта, що захищається від дії ударних хвиль або що є їх джерелом. (євразійський патент EA010812B1, МПК F42D 5/45, опубл. 30.12.2008).

Недоліком відомого пристрою є низька ефективність захисту від дії ударних повітряних хвиль, оскільки ослаблення передачі хвиль тиску відбувається тільки у певних осередках.

Найбільш близьким є пристрій для захисту від ударних повітряних хвиль у вигляді вибухоподавлюючої споруди, що включає принаймні один вибухогасний бар'єр, що складається з циліндричних труб з пластикового матеріалу, які укладаються шарами в шаховій конфігурації і заповненні водою (патент US6302026B1, МПК F42D 5/00, опубл. 16.10.2001).

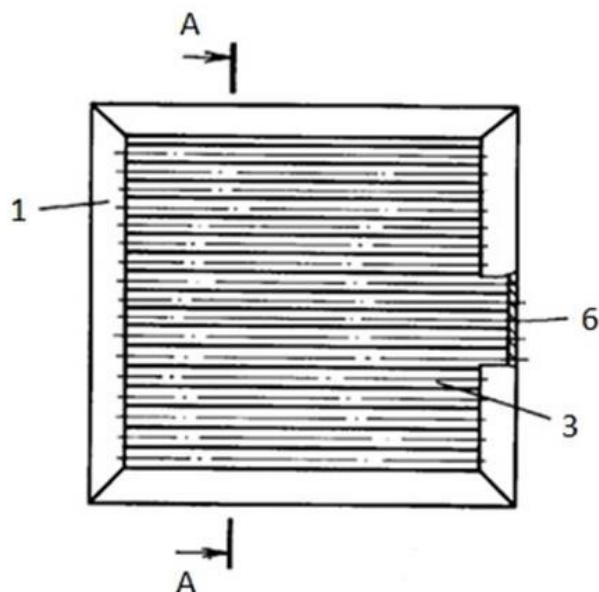
Недоліком цього пристрою є низька ефективність захисту від дії ударних повітряних хвиль, оскільки циліндричні труби першими сприймають удар, затримуючи металеві предмети вибухового пристрою, руйнуються, що спричиняє викидання частини води в повітря, що в свою чергу послаблює наступну хвилю тиску, не використовуються пружні властивості циліндричних труб і відсутня можливість пропускати світло, що важливо для експлуатації, наприклад, вікон будівлі.

В основу корисної моделі поставлено задача розробки пристрою для захисту конструкцій (наприклад, вікон) від ударних повітряних хвиль у вигляді бар'єру, в якому за рахунок зміни конструкції підвищується ефективність послаблення ударної хвилі, зменшується матеріалоемність конструкції і досягається можливість пропускати світло.

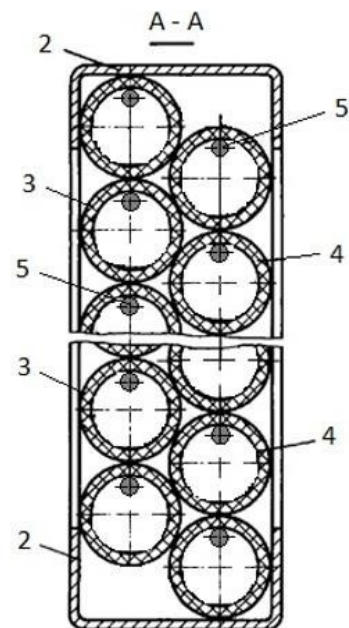
Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для захисту від ударних повітряних хвиль у вигляді вибухогасного бар'єру, що складається з циліндричних труб з пластикового матеріалу, які укладаються шарами в шаховій конфігурації додатково містять раму та сталеві канати, розташовані всередині пластикових труб і закріплені до бічних сторін рами з можливістю регулювання натягу, а пластикові труби прозорі.

Корисна модель пояснюється кресленням (рис.3.8). На фіг.1 представлений

загальний вигляд пропонованого бар'єру, на фіг. 2 розріз А-А на фіг. 1.



Фіг.1



Фіг. 2

Рис. 3.8 - Пристрій для захисту від ударних повітряних хвиль

Пристрій для захисту від ударних повітряних хвиль складається з рами 1, прозорих (наприклад ПВХ) пластикових труб 3 зовнішнього ряду та прозорих пластикових труб 4 внутрішнього ряду, розміщених між бічними сторонами 2 рами 1, в яких розташовані сталеві канати 5. Сталеві канати 5, закріплені до бічних сторін 2 рами 1 з можливістю регулювання натягу 6 і розташовані з кроком, який забезпечить суцільне перекриття площі рами 1 прозорими пластиковими трубами 3 і прозорими пластиковими трубами 4.

Розміщення на шляху руху ударної повітряної хвилі між об'єктом захисту і джерелом вибуху пристрою запропонованої конструкції у вигляді бар'єру з двох рядів прозорих пластикових труб 3 і 4, розташованих в шаховому порядку дозволяє скоротити силу впливу ударної хвилі на об'єкт захисту. Навантаження від ударної хвилі розподіляється по зовнішньому 3 і внутрішньому 4 ряду прозорих пластикових труб за рахунок аеродинамічного опору, пластичного деформування прозорих пластикових труб 4 в газоповітряному середовищі та опору сталевих канатів 5, закріплених на бічних сторонах 2 рами 1, що

призводить до підвищення несучої здатності пристрою, а значить і підвищення ефективності використання.

Пристрій застосовують наступним чином. Рама 1 вставляється в віконний проріз зовні через віброгасну прокладку (на фіг. не показано). При вибуху енергія повітряної ударної хвилі поглинається еластичними пружними оболонками прозорих пластикових труб 4 і прозорих пластикових труб 3, а також сталевими канатами 5, закріпленими до бічних сторін 2 рами 1 з можливістю натягу. Енергія ударної повітряної хвилі, що проходить через тіло, витрачається на пружну деформацію тіла прозорих пластикових труб 3 і 4 та сталевих канатів 5, утворення турбулентних потоків навколо поперечного перерізу прозорих пластикових труб 3 і прозорих пластикових труб 4. При цьому вона гаситься за рахунок сил поверхневого натягу та тертя між зовнішніми стінками рядів труб 3 і 4. Закріплення сталевих канатів 5 до бічних сторін 2 рами 1 дозволяє значно зменшити діаметр сталевих канатів 5, ефективно використовуючи деформаційні властивості сталі, що приведе до зменшення матеріалоемності пристрою.

В процесі експлуатації не зменшується природна освітленість вікон.

Таким чином, запропонована корисна модель дозволяє підвищити ефективність захисту об'єкта від ударної повітряної вибухової хвилі.

## **Висновки**

В результаті теоретичних і лабораторних досліджень підтверджено можливість використання властивостей теплоізолюючих пористих матеріалів в якості захисних при сприйнятті вибухових навантажень, розроблено нові конструктивні рішення захисних конструкцій від вибухової повітряної хвилі:

1. Пристрій для захисту конструкцій від вибухової ударної хвилі
2. Пристрій для захисту від ударних повітряних хвиль

Оформлені комплекти документації і подані заявки на отримання патенту на корисну модель, які підтвердять наукову новизну досліджень.

## 4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

### Оцінки ступенів руйнування житлових будинків після впливу звичайних засобів ураження

Обґрунтовано умови руйнування типових житлових будівель при дії за ними звичайних засобів ураження, що може бути покладено основою вдосконалення конструкцій будівель, розробки пропозицій щодо підвищення стійкості їх функціонування та об'єктів економіки та впливає на ймовірність виконання ними своїх задач. Використання методики дозволяє також обґрунтувати обсяг відновлювальних робіт у житловій зоні після впливу звичайних засобів ураження та пропозиції щодо забезпечення захищеності населення.

Як показує історичний досвід держав з підготовки та ведення воєн, їх перебіг і результат багато в чому залежить від співвідношення оборонної сили воюючих сторін, характеризується матеріальними силами та коштами, які держава спроможна виділити задоволення військових потреб. Кількість (обсяг) цих сил та засобів визначається економічним, науково-технічним та морально-політичним потенціалом держави.

До основних елементів економічного потенціалу можна віднести: національне багатство як сукупність матеріальних цінностей; виробничий потенціал промисловості; матеріально-технічну базу сільського господарства; виробничу інфраструктуру та населення країни як джерело трудових та мобілізаційних ресурсів.

При цьому населення (персонал) розміщується у житлових зонах населених пунктів та об'єктів економіки та інфраструктури (заводи, навчальні заклади, бази ремонту та ін.), де можуть виникати осередки поразки.

Для населених пунктів з метою розробки та реалізації заходів щодо захисту населення від впливу звичайних засобів поразки встановлюються групи з цивільної оборони. При цьому існуючі методики визначення ступенів руйнування будівель при дії звичайних засобів ураження дозволяють оцінити лише локальні руйнування, але не дозволяють зробити висновок, що буде з

будівлею в цілому, та орієнтовані на оцінку стану потенційно небезпечних об'єктів, об'єктів оборони та безпеки.

Тому викладаються методичні підходи розв'язання цього завдання.

Заходи щодо підвищення захищеності населення житлових зон проводять стосовно зони можливих руйнувань і можливих сильних руйнувань, зони можливого утворення завалів [3].

Зона можливих руйнувань – селітебна та виробнича території, в межах яких, внаслідок впливу звичайних засобів ураження, будівлі та споруди можуть отримати руйнування.

Зона можливих сильних руйнувань – територія, в межах якої в результаті впливу звичайних засобів ураження будівлі та споруди можуть отримати повні та сильні руйнації. Для сильних руйнувань характерна суцільна руйнація несучих конструкцій будівель та споруд.

Повне руйнування характеризується обваленням будівель та споруд, від яких можуть зберегтися лише пошкоджені або непошкоджені підвали, а також незначна частина міцних конструктивних елементів. Усього існує чотири ступені руйнування: повне, сильне, середнє та слабке.

На території країни основними типами житлових будинків є панельні, цегляні та монолітні.

Найбільш характерними панельними вважаються будівлі серій: П-44, П-44ТМ, П-44Т, П-44М, П-3, П-3М, П-4, КОПЕ, КОПЕ-М, П-111, П-111М, І-700А, ГМС-1, ГМС-2001, ГМС-3, ПД-1, ПД-3, ПД-4, ПД-4М, П-30, І-155, МТ-9, І-46С, ТМ-25, П-42, П-43, П-49, П-57, І-522А, К-7, 137, МЕС-84, І-515/9М та ін.

Основними несучими елементами є стінові панелі, що забезпечують стійкість будівлі в поздовжньому та поперечному напрямку.

В цегляних будинках основними несучими елементами є поздовжні цегляні стіни, які забезпечують стійкість будівлі у поздовжньому та поперечному напрямку.

Найбільш характерними монолітними вважаються будівлі серій І-1737, М6-ЕКО, КОЛОС (І-1279). Основними несучими елементами є залізобетонні



колони, (пілони) та залізобетонні стіни, що забезпечують стійкість будівлі в поздовжньому та поперечному напрямку.

Для огороження використовуються самонесучі тришарові цегляні стіни або монолітні несучі стіни.

Будинки, залежно від конструктивних особливостей, мають різну міцність і вибухостійкість – властивість протистояти впливу факторів вибуху, що вражають звичайних засобів ураження, здатних викликати прогресуючий обвал будівлі, – поширення початкового локального ушкодження у вигляді ланцюгової реакції від елемента до елемента, що призводить до обвалення споруди або непропорційно великий його частини.

Вибухостійкість будівлі обумовлюється його конструктивними особливостями, які характеризуються наявністю критичних елементів, – елементів конструкції, що беруть участь у формуванні конструктивної жорсткості та стійкості будівлі до прогресуючого обвалення.

Для оцінки стійкості монолітних та цегляних будівель проти прогресуючого обвалення рекомендується використовувати просторову модель [3–5]. У ній можуть враховуватись елементи, які за нормальних експлуатаційних умов є ненесучими (залізобетонні огороження балконів тощо), а при руйнуванні критичних елементів беруть активну участь у перерозподілі зусиль в елементах конструктивної системи.

Для розрахунку панельних будівель на стійкість рекомендується використовувати просторову розрахункову модель як системи пластинок [6].

Як гіпотетичне локальне руйнування слід розглядати руйнування на будь-якому одному поверсі будівлі вертикальних конструкцій:

- а) двох стін, що перетинаються, на ділянках від місця їх перетину (кута будівлі) до найближчого отвору в стіні або до наступного вертикального стику зі стіною іншого напрямку, але у сумарній довжині трохи більше 7 м;
- б) окремої колони (пілона);
- в) колони (пілона) з ділянками стін, що примикають, на їх довжині за п.а.

При цьому рекомендується розглядати найбільш небезпечні локальні руйнування зовнішніх і внутрішніх стін та найбільш завантажених пілон (колон).

Моделювання руйнування критичного елемента виконується шляхом його видалення із розрахункової схеми будівлі. Стійкість будівлі забезпечена, якщо для будь-якого її елемента дотримується умова  $F \leq S$ , де  $F$  і  $S$  – відповідно, зусилля в конструктивному елементі, знайдене з виконаного розрахунку, та його розрахункова несуча здатність.

#### 4.1 Оцінка вибухостійкості панельного будинку

Несучі конструкції житлової п'ятиповерхової панельної будівлі виконані із тришарових залізобетонних панелей (рис. 4.1). Розміри будинку у плані – 12×19,5 м.



Рис. 4.1 – Панельна будівля прийнята для розрахунку

Як розрахункова модель взято проект під серією 1-515. Висота поверху 2,48 м. Фундаменти - з/б блоків завтовшки 400 мм під капітальними стінами по стрічковим подушкам. Несучі стіни - три поздовжні стіни: дві зовнішні і одна внутрішня посередині будівлі. Поперечну стійкість будинку забезпечують торцеві стіни і стіни сходових кліток. Відстань (проліт) між двома поздовжніми стінами становить 6 метрів. Самонесучі стіни товщиною 140 мм. Перекриття підвалу - із залізобетонних ребристих плит. Перекриття поверхів будинку-з багатопустотних залізобетонних настилів довжиною 5900 мм, і шириною 1990 мм. Спирання зроблено на поздовжні капітальні стіни. Покрівля у ранніх

версіях була розроблена двосхила із зовнішнім водостоком. Пізніше стала плоскою рулонною та з внутрішніми водостоком. Вентиляція припливна - природна, витяжна - через вентилятори кухні та санвузла.

Найбільше небезпечними є руйнування панелі: торцевої поперечної або поздовжньої стіни, що примикає до кута будівлі; внутрішньої поперечної стіни. Розрахункова схема будівлі являє собою залізобетонні плити перекриття, залізобетонні внутрішні та зовнішні стіни (рис. 4.3). Найбільш небезпечними і, отже, розрахунковими локальними руйнуваннями є руйнування: панелі торцевої поперечної або поздовжньої стіни, що примикає до кута будівлі; панелі внутрішньої поперечної стіни, що несе навантаження від навісних лоджій або балконів та ослабленої дверними прорізами (рис. 4.3).

Кількість розрахункових локальних руйнувань у кожному конкретному випадку визначається індивідуально залежно від особливостей плану будівлі та прийнятих конструктивних рішень. При уніфікованому рішенні збірних елементів та зв'язків між ними та щодо простого плану будівлі можна обмежитися розглядом двох-трьох небезпечних локальних руйнувань.

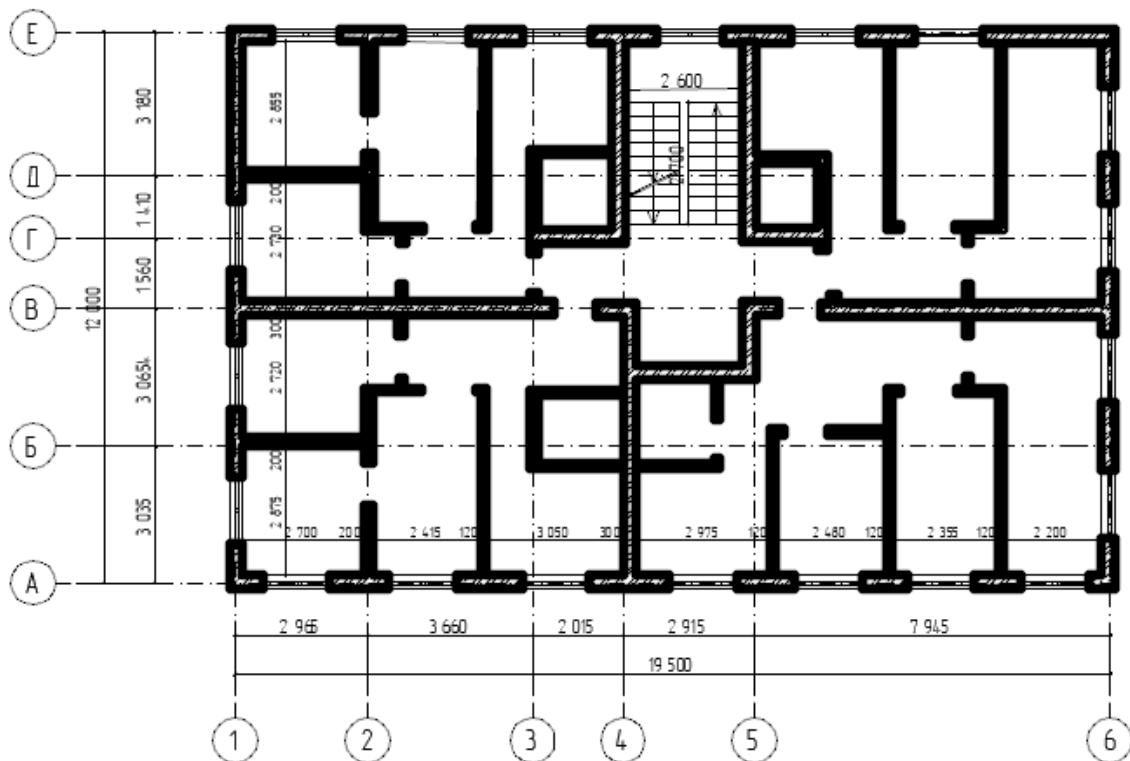


Рис. 4.2 - План типового поверху

Розрахункова схема будівлі з залізобетонними плитами перекриття, залізобетонними внутрішніми і зовнішніми стінами (рис. 4.3). Аварійний вплив є руйнування стін в осях на рівні першого поверху. Кількість зруйнованих стін збільшується при розрахунку до того часу, доки не встановлюється стан повної руйнації.

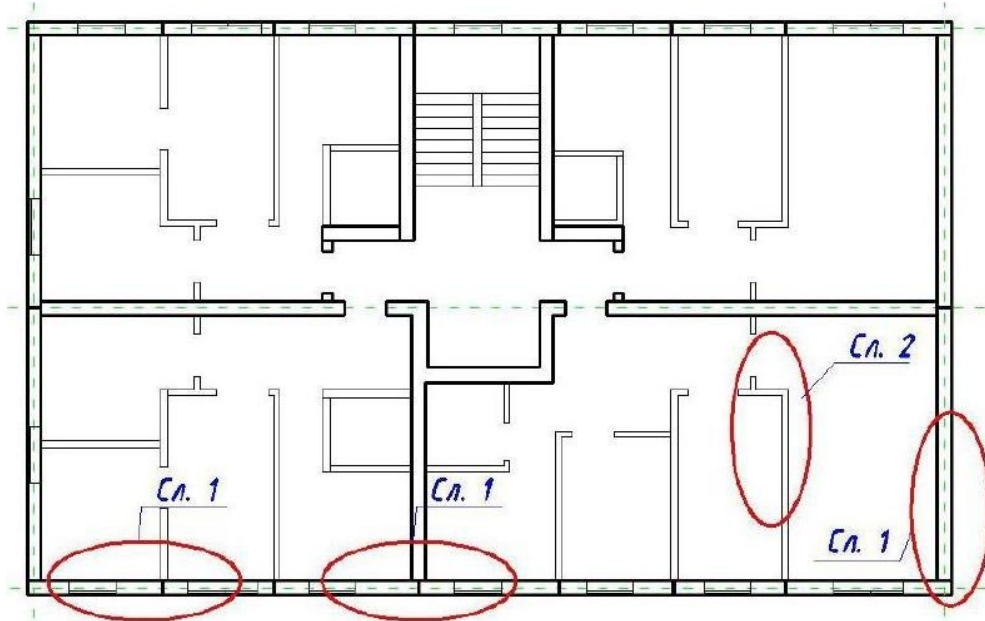


Рис. 4.3 - Схема розташування локальних руйнувань типового поверху панельного будинку

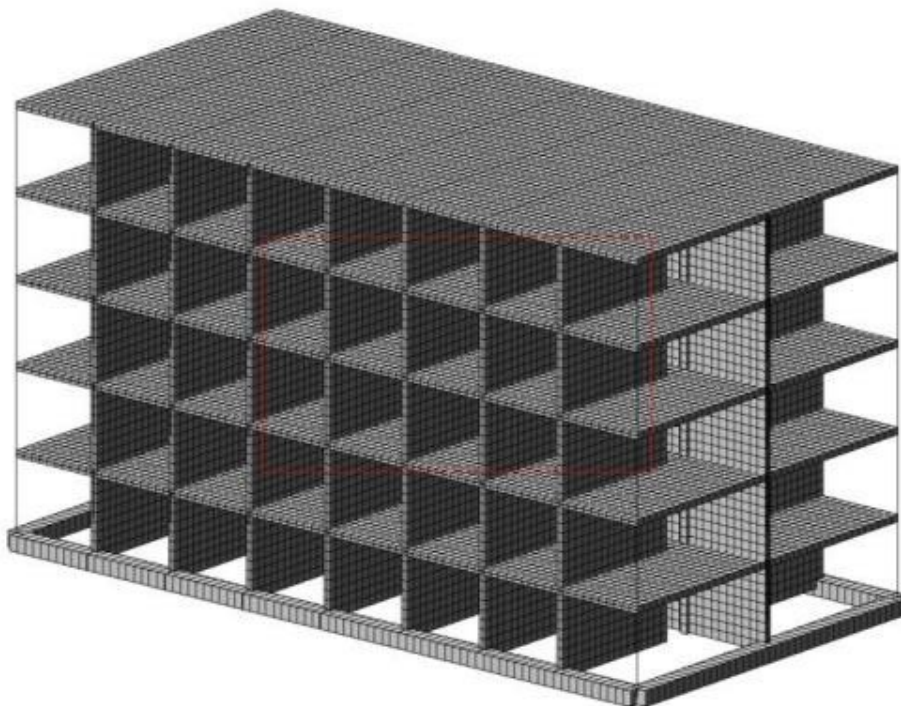


Рис. 4.4. - Розрахункова схема панельного будинку

Розрахункова схема аварійного впливу за варіантами 1 і 2 - руйнування стін в осях А/1-2 і А-Б/1-2 на рівні першого поверху (рис. 4.3). Кількість зруйнованих стін збільшувалася після кожного розрахунку доти, доки не встановився стан повного руйнування. Схема руйнування стін представлена на рис. 4.5.

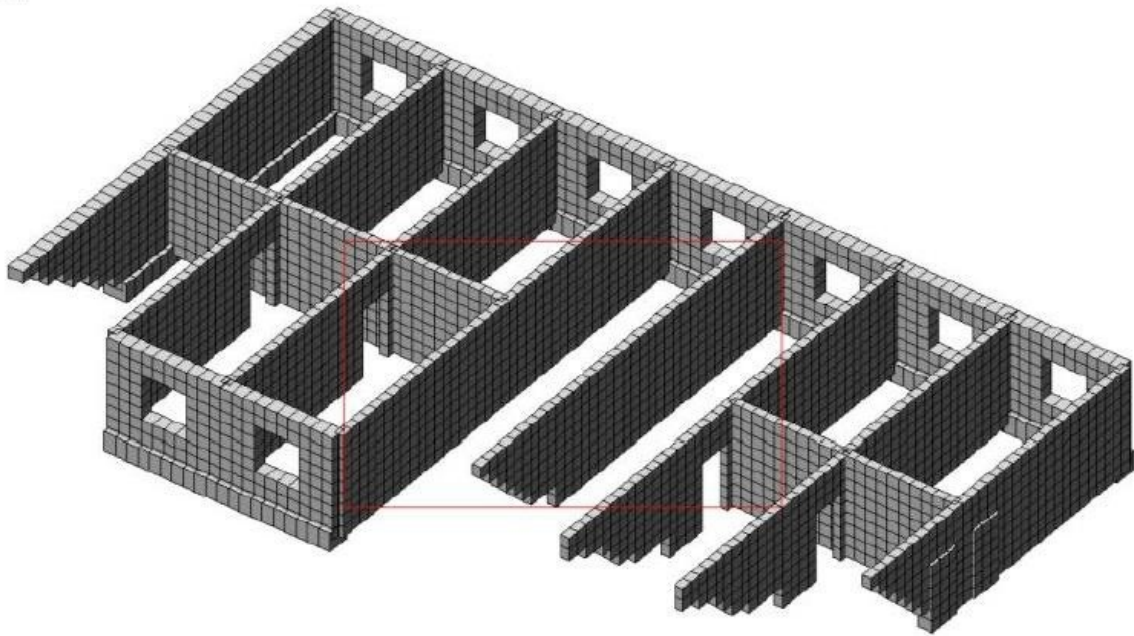


Рис. 4.4. - Схема поверху із зруйнованими панелями

За ступенем руйнувань кінцевих елементів можна будувати висновки про стан будівлі на етапах розрахунку. При руйнуваннях більше 75% елементів можна стверджувати про їх дисфункцію, тобто - елементи не відповідають розрахунковим характеристикам. Для схеми найбільше значення мають елементи стінок. Було проведено чотири розрахунки: при першому видалено 9 м несучої стіни; при другому – 27 м; за третього – 33 м стіни; при четвертому – 40 м стіни. За результатами розрахунку визначено, що зруйнування панельного будинку серії 1-515 потрібно видалити 40 п.м. із 105 п.м. несучої стіни.

#### **4.2 Оцінка вибухостійкості цегляної будівлі**

Несучі конструкції житлової цегляної п'ятиповерхової будівлі виконані з керамічної цегли (рис. 4.5). Розміри будинку в плані становлять 12×16,5 м. Роки будівництва 1958-1969. Фундаменти - стрічкові мілкового закладання. Несучі стіни - зовнішні стіни - цегла керамічна, товщиною 51 см; внутрішня центральна



поздовжня стіна – 38 см. Перекриття поверхів будинку-з багатопустотних залізобетонних настилів товщиною 22см. Спирання зроблено на поздовжні капітальні стіни.



Рис. 4.5 – Цегляна п'ятиповерхова будівля

Поздовжню і поперечну стійкість його забезпечують зовнішні та внутрішні несучі стіни у взаємодії із плитами перекриття. Сходовий вузол утворює ядро твердості.

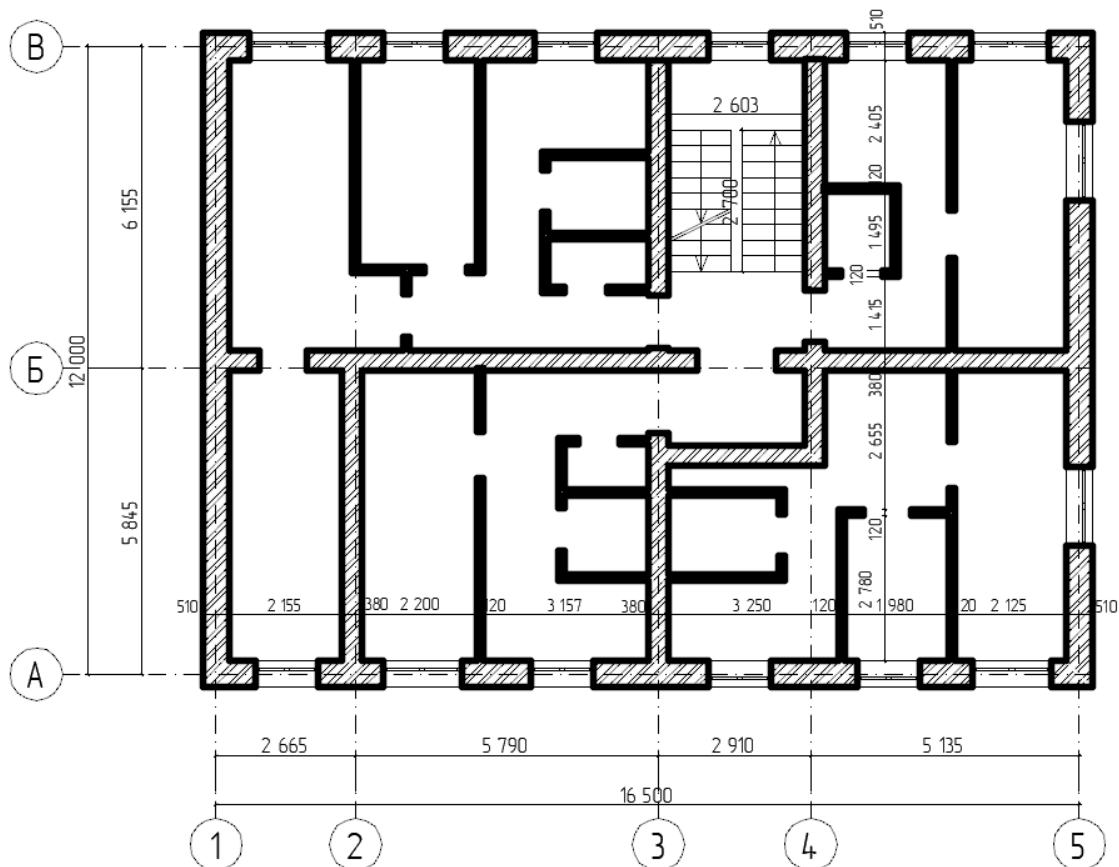


Рис. 4.6 - План типового поверху

Несучі конструкції будівлі виконані з цегли марки М125. За основу моделі прийнято проект 1-511. Висота поверху 2,48 м. Найбільш небезпечними є руйнування торцевої, поперечної, поздовжньої та внутрішньої поперечної стін. Розрахункова схема будівлі представляє собою залізобетонні плити перекриття, оперті на цегляні внутрішні та зовнішні стіни. Аварійний вплив є руйнування стін в осях на рівні першого поверху. Кількість зруйнованих стін збільшувалася при розрахунку доти, доки не встановлювався стан повного руйнування (рис. 4.4), та визначено, що для руйнування будівлі потрібно видалити 51 п.м. з 92 п.м. несучої стіни.

Розрахункова схема будівлі являє собою залізобетонні плити перекриття, оперті на цегляні внутрішні та зовнішні стіни (рис. 4.7).

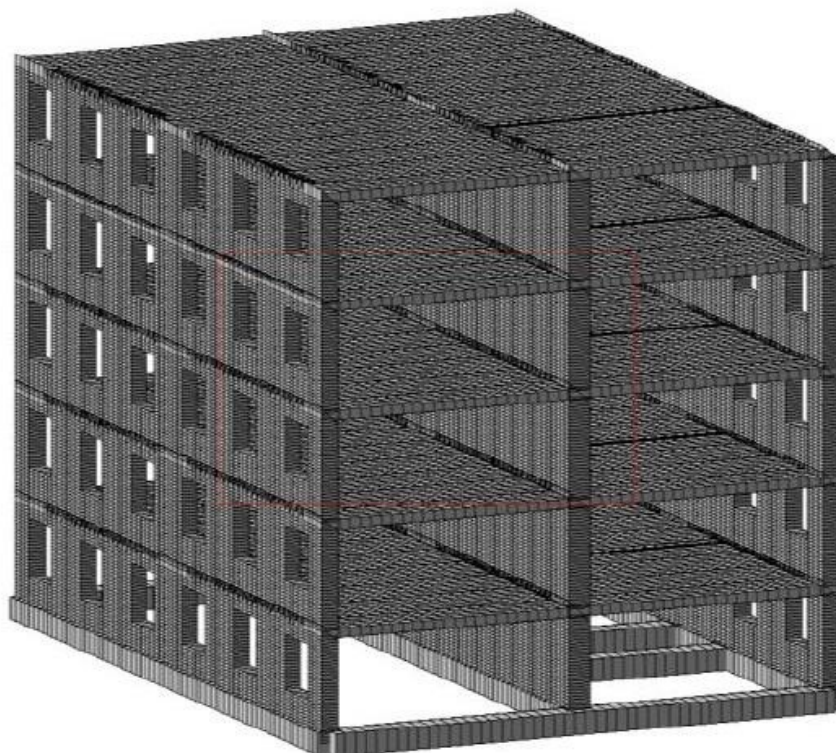


Рис. 4.7 - Розрахункова схема цегляної будівлі

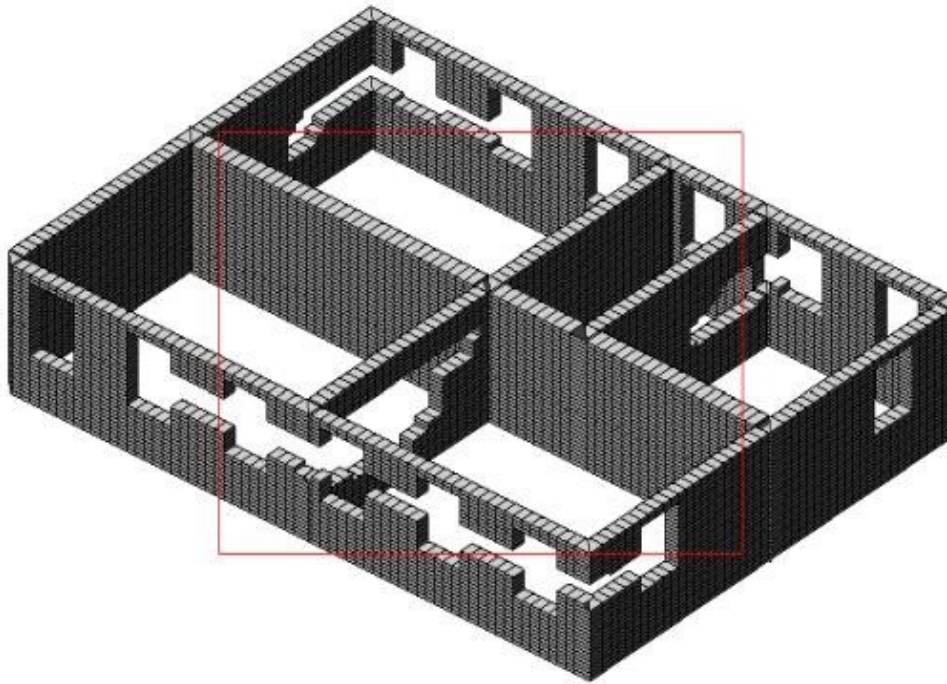


Рис. 4.8 - Схема поверху із зруйнованими цегляними стінами

### 4.3 Оцінка вибухостійкості монолітної будівлі

За основу моделі прийнято проект під серією І-1737. Висота поверху 3,2 м. Розміри будинку у плані становлять 36×40 м. Збір навантажень проводиться відповідно до рекомендацій з обліку навантажень та впливів на будівлі та споруди [22]. Розрахункова схема будівлі являє собою монолітні плити перекриття, монолітні колони та монолітні зовнішні стіни (рис. 4.9).

Вибір варіантів аварійних впливів (вибухових навантажень) на будівлю передбачав, що такого роду впливи мають найбільший вплив, коли відбуваються в кутах будівлі або припадають під найнавантаженіші вертикальні елементи. Аварійна дія - руйнування колон і стін в осях на рівні першого поверху.

Розрахункова схема аварійного впливу за варіантами 1, 2 і 3: руйнування колони в осях Б/2, Б/3, Б/4, В/3, Е/3, Ж/5, Ж/4, Ж/3 рівні першого поверху, а також руйнування стін в осях 4-5,1/А, А-Б/5,1, А-В/1, 1-2/А, І-Ж/6, 5/1- 6/І, 2/1-3/І, І-Ж/2,1 (рис. 4.9).



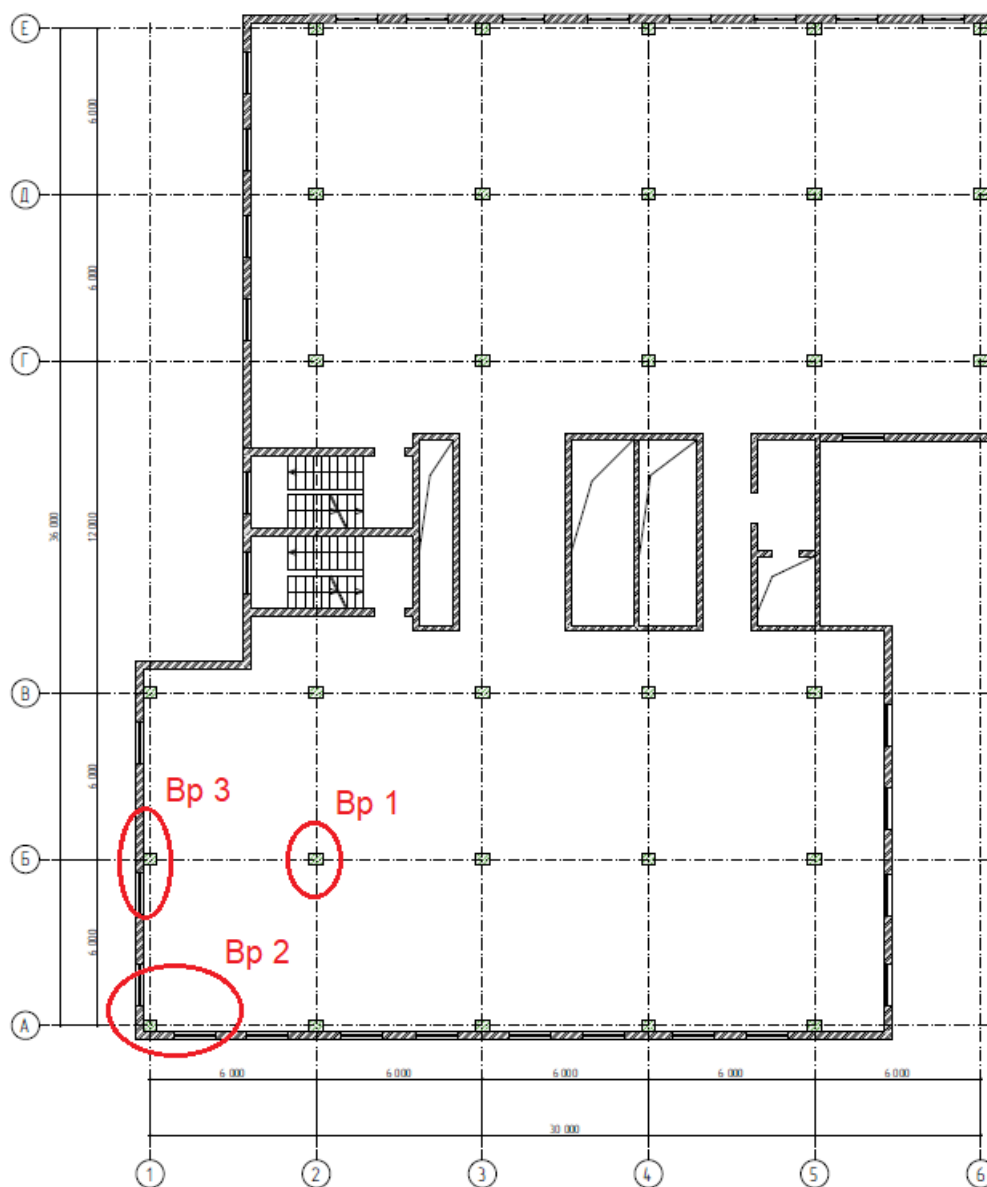


Рис. 4.9 - Схема розташування локальних руйнувань типового поверху монолітного будинку

Кількість зруйнованих колон збільшувалася після кожного розрахунку доти, доки не встановлювався стан повної руйнації (рис. 4.10).

Для схеми найбільше значення мають елементи колон та стін. За результатами розрахунку визначено, що для руйнування монолітної будівлі потрібно видалити 8 колон з 12 і 58 п.м. із 158 п.м. несучої стіни.

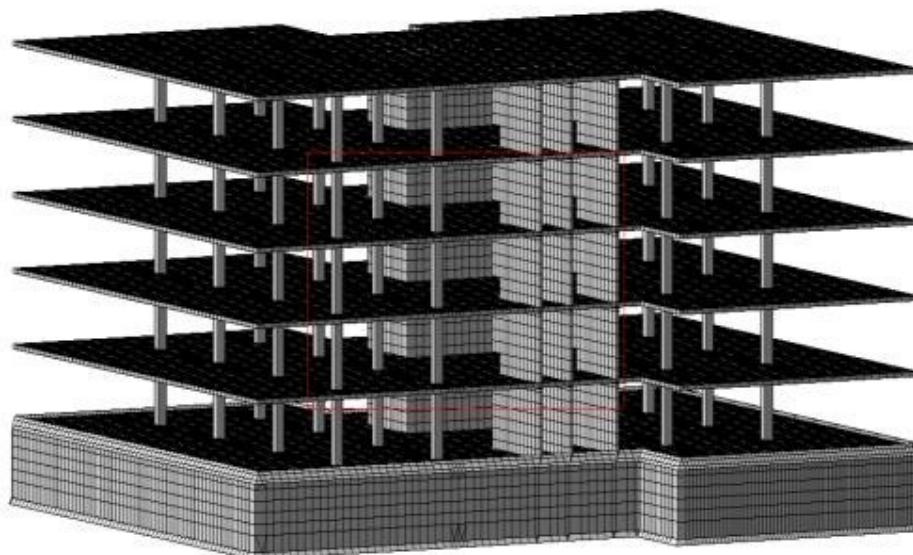


Рис. 4.10 - Розрахункова схема монолітного будинку

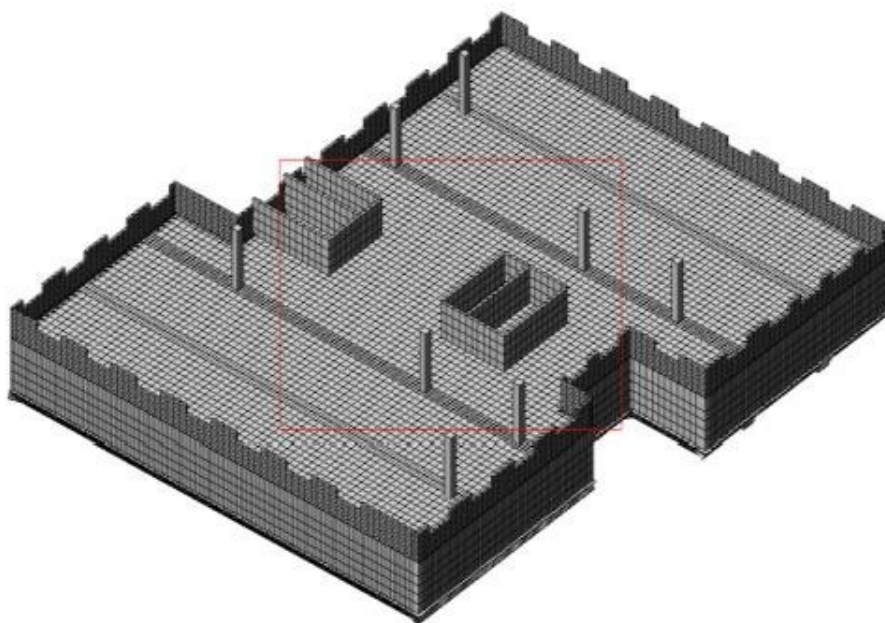


Рис. 4.11 - Схема поверху з зруйнованими колонами та стінами монолітного будинку

#### **4.4 Оцінка можливих ступенів руйнування житлових будівель**

Поняття ступенів руйнування будівель сформувалися за результатами оцінки наслідків на них повітряної ударної хвилі ядерного вибуху. В цьому випадку будинок занурюється в ударну хвилю і на всі його конструктивні елементи діє надлишковий тиск однакової величини.

При дії звичайних засобів ураження немає виражених ознак ступенів руйнування будівлі, як за дії повітряної ударної хвилі ядерного вибуху. У зв'язку з цим запропоновано [8, 9] ступеня руйнування будівлі оцінювати економічну шкоду внаслідок повних або часткових руйнувань будівлі (табл. 4.1).

Взявши за основу цю класифікацію ступенів руйнування, як показник для їх визначення пропонується прийняти вираз [8, 9]:

$$K = \sum_{i=1}^m M_i C_i, \text{ грн}, \quad (4.1)$$

де  $M_i$  – математичне очікування частки  $i$ -го типу зруйнованих конструктивних елементів будівлі;  $C_i$  – вартість  $i$  типу конструктивного елемента;  $m$  – кількість типів конструктивні елементи.

Таблиця 4.1 - Зв'язок ступеня руйнування будівлі з можливими економічними збитками

Ступінь руйнування	Характер руйнування	Збитки від вартості будівлі	Характер Відновлювальних робіт
Повне	Обвалення несучих конструкцій, пошкодження підвальних приміщень та інженерних комунікацій	90-100%	Відновлення неможливе і недоцільно
Сильне	Збереглася частина несучих конструкцій та підземні інженерні мережі	50-90%	Відновлення вимагає перебудови. можливо часткове використання вцілілих конструкцій
Середнє	Збереглася більша частина несучих конструкцій та підвали. Внутрішня частина зруйнована або вигоріла	30-50%	Значний обсяг відновлювальних робіт. Потрібне залучення спеціальних підрозділів
Слабке	Деформація внутрішніх елементів, покрівлі, прибудов, віконних та дверних коробок	10-30%	Незначний обсяг робіт, доступний ремонтно відновлювальним бригадам
Легке	Пошкодження другорядних елементів: скління, козирків тощо.	0-10%	Відновлення доступне без перерви експлуатації будівлі

До критичних елементів будівель за важливістю належать: фундамент, колони і несучі стіни; покриття та міжповерхові перекриття; внутрішні стіни та перегородки; віконні та дверні пристрої. Для визначення математичного очікування частки зруйнованих конструктивних елементів скористаємося такими причинами.

Перша пов'язані з вибором впливу. По житлових будинках можливий вплив авіаційно-ракетними боеприпасами за площею житлової зони (майданний вплив) або за площею будівлі (прицільна дія). При майданному впливі можливі два випадки: перший - килимова дія, коли удар наноситься по площі всього вогнища поразки; другий – удар наноситься лише за забудованою частиною. Як розрахунковий приймається найнебезпечніший випадок, коли боеприпаси споряджені підривною уповільненою дією, тобто здатні пробивати міжповерхові перекриття або проникати в ґрунт на рівень фундаменту.

Друга передумова стосується розподілу боеприпасів за площею житлової зони та площі будівлі. У разі майданного впливу боеприпаси розподіляються за площею мети за певними законами залежно від засобів доставки. З урахуванням цього автори вважають, що площа поразки від одного боеприпасу не накладається на площу поразки іншого.

При дії за площею будівлі розміри площ руйнування будівельних конструкцій порівняні з розмірами будівлі. У цьому випадку можливе накладення площ поразки від сусідніх вибухів, що необхідно враховувати щодо сумарних руйнувань конструкцій будівель.

Третя передумова стосується визначення ймовірностей влучення боеприпасів у площу будівлі. Вважатимемо, що при прицільному впливі ймовірність влучення боеприпасів у площу будівлі дорівнює одиниці, тому що в цьому випадку будуть застосовуватись керовані боеприпаси чи боеприпаси з високою точністю їх наведення.

З урахуванням передумов розроблено розрахункову схему локальних руйнувань конструкції будівлі (рис. 4.12), яка передбачає можливі випадки впливу звичайних засобів ураження.

1. Боєприпас кінетичною енергією удару пробиває покриття та міжповерхові перекриття будівлі, викликаючи наскрізне пробивання з відколом бетону з внутрішньої поверхні плит покриття (перекриттів). Радіус відкольної зони:

$$R_1 = 1,5d, \text{ м}, \quad (4.2)$$

де  $d$  - діаметр боєприпасу, м.

Кількість перекриттів, що пробиваються, залежить від маси, швидкості боєприпасу, товщини та матеріалу перекриттів.

2. Після вичерпання кінетичної енергії боєприпас вибухає на черговому перекритті, надаючи руйнівну дію вибухом.

Радіус руйнування перекриття внаслідок місцевої дії вибуху:

$$R_2 = mK_{\text{від}} \sqrt[3]{C_{\text{еф}}}, \text{ м}, \quad (4.3)$$

де  $m$  – коефіцієнт забивки;  $K_{\text{від}}$  - коефіцієнт опору матеріалу відколу;

$C_{\text{еф}}$  – ефективна маса заряду вибухової речовини боєприпасу, наведена до тротилу.

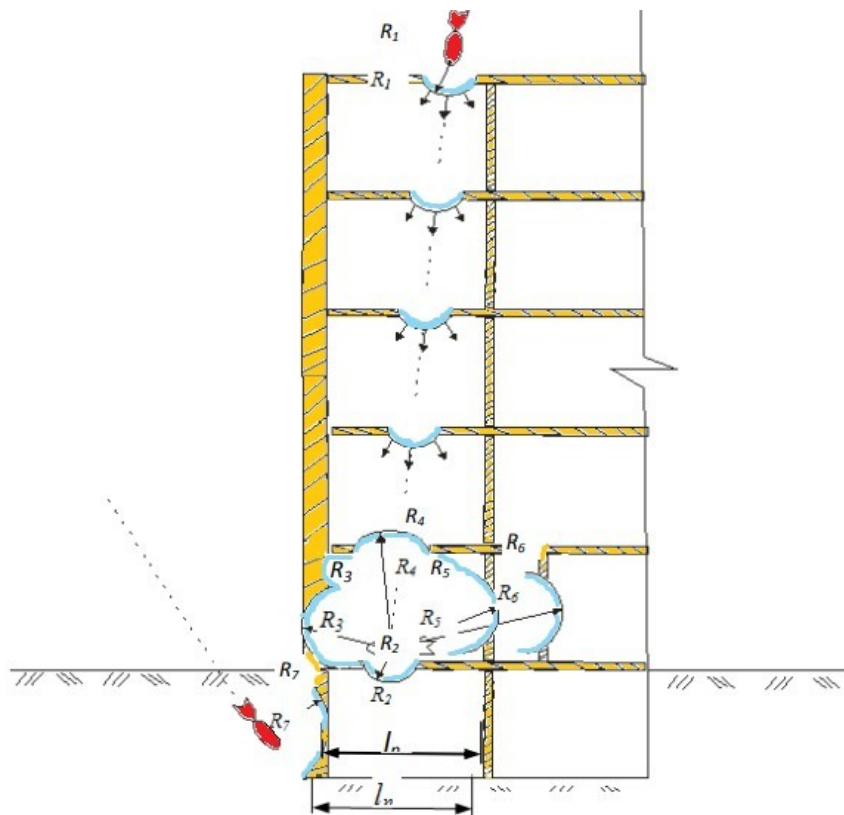


Рис. 4.12 - Розрахункова схема локальних руйнувань конструкцій будівлі засобами ураження у звичайному спорядженні.

На рисунку 4.12:

$R_1$  – радіус руйнування міжповерхового перекриття місцевою дією удару;

$R_2$  – радіус руйнування міжповерхових перекриттів місцевою дією вибуху;

$R_3$  – радіус руйнування несучих стін загальною дією вибуху;

$R_4$  – радіус руйнування міжповерхових перекриттів загальною дією вибуху;

$R_5$  – радіус руйнування колон (пілон) загальною дією вибуху;

$R_6$  – радіус руйнування внутрішніх стін (перегородок) загальною дією вибуху;

$R_7$  – радіус руйнування фундаменту сейсмічною хвилею вибуху (при майданному впливі);  $l_n$  – відстань між осями несучих стін

3. Вибух боєприпасу на міжповерховому перекритті має загальну дію на конструкції будівлі повітряною ударною хвилею.

Радіус руйнування внаслідок загальної дії вибуху у повітрі:

$$R_{3,4,5,6} = K \sqrt{\frac{C_{\text{еф}}}{d}}, \text{ м}, \quad (4.4)$$

де  $K$  - коефіцієнт, що залежить від вибухової речовини заряду боєприпасу та матеріалу конструкцій: 0,6 – для цегляних конструкцій, 0,25 – для залізобетонних конструкцій;

$d$  – товщина стін, приймається: 0,5 м – для цегляних конструкцій, 0,3 м – для залізобетонних конструкцій.

4. Вибух боєприпасу в ґрунті поруч із фундаментом надає на нього спільну дію хвилею стиснення.

Радіус руйнування внаслідок загальної дії вибуху в ґрунті:

$$R_7 = 2,13 \sqrt[3]{\frac{C_{\text{еф}}}{\Delta P_{\phi}}}, \text{ м}, \quad (4.5)$$

де  $\Delta P_{\phi}$  – надлишковий тиск у фронті повітряної ударної хвилі ядерного вибуху для укриттів у підвалах житлових будівель, кг/см<sup>2</sup>, фундаменти сучасних типових будівель витримують навантаження від  $\Delta P_{\phi}=1$  кгс/см<sup>2</sup>.

У формулах (4.3, 4.4, 4.5):

$$C_{\text{еф}} = C \cdot K_{\text{еф}}, \text{ кг}, \quad (4.6)$$

де  $C$  – маса заряду вибухової речовини боєприпасу, кг;  $K_{ef}$  - коефіцієнт приведення вибухової речовини боєприпасу до тротилу

Площі ураження критичних елементів будівель визначаються залежно від їх розмірів та величини радіуса руйнування.

Площа поразення несучих стін:

$$F_{nc} = L_{nc} (R_3 + t_{nc}), \text{ м}^2, \quad (4.7)$$

де  $L_{nc} (t_{nc})$  – відповідно, загальна довжина та товщина несучих стін одного поверху, м.

За умови  $F_{nc} \geq F_{б\text{уд}}$  площі ураження суміжних стін накладаються один на одну, де  $F_{б\text{уд}}$  - площа будівлі, і приймається, що  $F_{nc} = F_{б\text{уд}}$ .

Площа ураження колони (пілона):

$$F_k = (a + 2R_5) (b + 2R_5), \text{ м}^2, \quad (4.8)$$

де  $a, b$  - розміри колони (пілона) у плані, м.

За умови  $F_k \cdot m_k \geq F_{б\text{уд}}$  площі ураження колон накладаються один на одного, тоді  $F_k = F_{б\text{уд}}$ , де  $m_k$  - кількість колон.

Площа ураження фундаменту:

$$F_\phi = 2(L + R_7) (B + R_7), \text{ м}^2. \quad (4.9)$$

Імовірність руйнування критичних елементів будівель визначається за виразом:

$$P = 1 - e^{-F_n N}, \quad (4.10)$$

де  $F_n$  – площа ураження критичних елементів: несучих стін –  $F_{nc}$ , колон –  $F_k$ , фундаменту –  $F_\phi$ ;  $N$  – щільність впливу вогнища ураження, шт/м<sup>2</sup>.

За прицільної дії та за умови  $F_n \geq F_{б\text{уд}}$  приймаємо  $P=1,0$ .

При прицільному впливі на будівлі:

$$N_{\text{пр}} = \frac{z}{S_{\text{буд}}}, \frac{\text{шт}}{\text{м}^2}, \quad (4.11)$$

де  $z$  – кількість боєприпасів, прицільно випущених будівлі;  $S_{\text{буд}}$  – площа будівлі у плані, м<sup>2</sup>.

При майданному впливі по житловій зоні:

$$N_{\text{пл}} = \frac{n}{\rho} \cdot 10^{-3}, \frac{\text{шт}}{\text{м}^2}, \quad (4.12)$$

$$\rho = \frac{\sum S_{\text{буд}}}{S_{\text{жз}}}, \quad (4.13)$$

де  $n$  – щільність майданного впливу, т/км<sup>2</sup>;

$P$  – маса одного боеприпасу, кг;

$\rho$  – густина забудови житлової зони;

$\Sigma S_{\text{буд}}$  – загальна площа будівель житлової зони, м<sup>2</sup>;

$S_{\text{жз}}$  – площа житлової зони, м<sup>2</sup>.

Математичне очікування частки зруйнованої критичної довжини несучих стін та фундаменту ( $M_{\text{нс}}$ ,  $M_{\text{ф}}$ ) визначається за такими залежностями.

При прицільному впливі:

$$M_{\text{нс}} = 1 - \left(1 - \frac{L_c K}{L_k} P_{\text{нс}}\right)^z \quad (4.14)$$

При майданному впливі:

$$M_{\text{нс}} = \frac{L_c K}{L_k} P_{\text{нс}}, \quad M_{\text{ф}} = \frac{L_{\text{ф}}}{L_k} P_{\text{ф}}, \quad (4.15)$$

де  $L_c$ ,  $L_{\text{ф}}$  – відповідно, довжина зруйнованої ділянки стіни та фундаменту загальним вибухом одного боеприпасу, м ( $L_c = 2 \cdot 0,7 R_3$ ,  $L_{\text{ф}} = 2 \cdot 0,7 R_7$ );

$P_{\text{нс}}$ ,  $P_{\text{ф}}$  – можливість потрапляння боеприпасу у площу поразки, відповідно, несучої стіни та фундаменту;  $K$  – кількість суміжних стін, що руйнуються одним вибухом, при  $R_3 \geq l_n$   $K=2$ ;

$L_k$  – критична довжина несучих стін, руйнування яких призводить до прогресуючого обвалення будівлі, м.

Математичне очікування частки критичної кількості колон  $M_k$  та критичної довжини фундаменту  $M_{\text{ф}}$  під зовнішні колони та стіни визначаються за наступними залежностям.

При прицільному впливі:

$$\text{при } R_5 \geq l_n - a \quad M_k = 1 - \left(1 - \frac{N}{N_k} P_k\right)^z \quad (4.16)$$

$$\text{при } R_5 < l_n - a \quad M_k = \frac{N}{N_k} P_k Z. \quad (4.17)$$

де  $N_k$  – критична кількість колон (пілонів) на поверсі, руйнування яких призводить до прогресуючого обвалення;  $a$  – найменша сторона колони;  $P_k$  – ймовірність попадання боеприпасів у площу ураження колони (пілона), при



$2R_5 + a > l_n$ ,  $P_K=1$ ;  $N$  – кількість колон (пілонів) на поверсі, що руйнуються вибухом одного боеприпасу, при  $R_5 \geq l_n - a$ ,  $N=5$ , за  $R_5 < l_n - a$ ,  $N=1$ .

При майданному впливі:

$$M_K = \frac{N}{N_K} P_K, \quad M_\Phi = \frac{L_\Phi}{L_K} P_\Phi, \quad (4.18)$$

де  $L_K$  – критична довжина зовнішніх стін, п.м.;  $L_\Phi$  – загальна довжина зовнішніх стін, п.м.

Площа зруйнованих перекриттів будівлі визначається як сума площ перекриттів, зруйнованих місцевою дією удару ( $R_1$ ), місцевою дією вибуху ( $R_2$ ) та загальної дії вибуху ( $R_4$ ). Можливі площі зруйнованих міжповерхових перекриттів (покриття) панельного та цегляного будівель пропонується визначати за наступними залежностями.

В результаті наскрізного пробивання з відколом:

$$S_{n_1} = \pi R_1^2 a, \quad \text{м}^2, \quad (4.19)$$

де  $a$  – кількість пробитих перекриттів, шт.

Внаслідок руйнування місцевою дією вибуху:

$$S_{n_2} = \pi R_2^2, \quad \text{м}^2. \quad (4.20)$$

Внаслідок руйнування перекриттів, що лежать вище, спільною дією вибуху і в результаті їх обвалення через руйнування несучих стін можуть мати місце наступні розрахункові випадки.

1. За умови  $R_4 > H_n$  (висота поверху),  $R_4 < R_3$ :

$$S_{n_3} = 2\pi R_4^2, \quad \text{м}^2. \quad (4.21)$$

2. За умови  $R_4 > R_3$  перекриття обрушується по всій довжині прольоту та довжині зруйнованої зовнішньої довжини:

$$S_{n_3} = 2R_3 \cdot l_n, \quad \text{м}^2. \quad (4.22)$$

3. При  $2R_3 > l_n$  руйнується внутрішня несуча стіна, а перекриття обрушується по довжині двох суміжних прольотів:

$$S_{n_3} = 4R_3 \cdot l_n, \quad \text{м}^2. \quad (4.23)$$

Загальна площа перекриттів, що руйнуються, складе:

$$S_n = S_{n_1} + S_{n_2} + S_{n_3}, \quad \text{м}^2. \quad (4.24)$$

Математичне очікування частки зруйнованих перекриттів цегляних та панельних будівель визначається за такими виразами.

При прицільному впливі на будівлі:

$$M_{\Pi} = 1 - \left(1 - \frac{S_n}{S_{\text{заг}}}\right)^z \quad (4.25)$$

При майданному впливі по житловій зоні:

$$M_{\Pi} = \frac{S_n}{S_{\text{заг}}} P_n, \quad (4.26)$$

де  $P_n$  - ймовірність попадання боєприпасу в площу будівлі;

$S_{\text{заг}}$  – загальна площа міжповерхових перекриттів (покриття):

$$S_{\text{заг}} = L \cdot B \cdot (a + 1), \text{ м}^2, \quad (4.27)$$

де  $L, B, a$  – відповідно, розміри поверхів у плані та кількість поверхів.

Математичне очікування частки зруйнованих монолітних перекриттів визначається також, як і цегляних (панельних), за умови, що:

$$S_{n3} = \begin{cases} \pi R_4^2, & \text{при } H_{\text{пов}} < R_4 \leq 2H_{\text{пов}}, \text{ м}^2 \\ 2\pi R_4^2, & \text{при } R_4 > 2H_{\text{пов}}, \text{ м}^2 \end{cases} \quad (4.28)$$

Математичне очікування частки зруйнованих внутрішніх стін (перегородок) визначається за такими залежностями.

При прицільному впливі на будівлі:

$$M_{\text{вс}} = 1 - \left(1 - \frac{S_{\text{вс}}}{S_{\text{заг}}}\right)^z \quad (4.29)$$

При дії по площі житлової зони:

$$M_{\text{вс}} = \frac{S_{\text{вс}}}{S_{\text{заг}}} P_{\text{буд}}, \quad (4.30)$$

де  $P_{\text{буд}}$  - ймовірність попадання боєприпасу в площу будівлі;  $S_{\text{вс}}, S_{\text{заг}}$  – відповідно, площі поверхів із зруйнованими внутрішніми стінами (перегородками) та загальна площа міжповерхових перекриттів,  $\text{м}^2$ .

$$S_{\text{вс}} = S_{\text{вс1}} + S_{\text{вс2}},$$

де  $S_{\text{вс1}}$  – площа зруйнованих внутрішніх стін першому поверсі,

$S_{\text{вс1}} = 2R_6 l_n$  при  $2R_6 \geq L$ ,  $S_{\text{вс1}} = L \cdot l_n$ ;  $S_{\text{вс2}}$  – площа зруйнованих внутрішніх стін на обрушених прольотах:

$$S_{\text{вс}2} = \begin{cases} S_{n3} & \text{— для цегляних і панельних будівель,} \\ \pi R_6^2 \beta & \text{— для монолітних будівель,} \end{cases}$$

де  $\beta$  - кількість обрушених прольотів;

$$S_{об} = L \cdot B \cdot \alpha,$$

де  $L, B, \alpha$  – відповідно, розміри будівлі та кількість поверхів у будівлі.

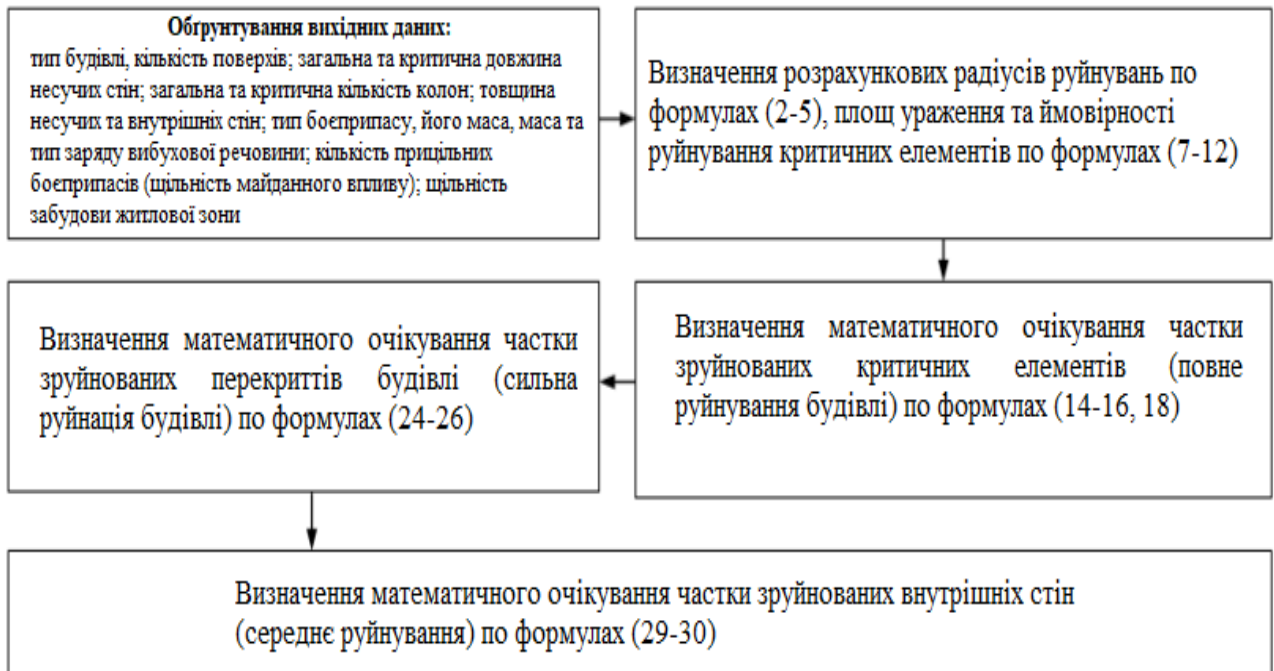


Рис. 4.13 - Алгоритм визначення стану житлових будівель при дії звичайних засобів ураження

## Висновки

Для використання досліджень автора в практиці будівництва були проведені розрахунки стійкості найбільш поширених будівель житлової зони до впливу повітряної ударної хвилі. Виконані розрахунки зовнішніх огорожень, покритих і непокритих пористими шарами, показали зниження тиску від вибухової повітряної хвилі на 12-15%. Отримання результатів за пропонуваною методикою дозволить обґрунтувати пропозиції щодо підвищення стійкості будівель житлової зони до впливу звичайних засобів ураження.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У магістерській кваліфікаційній роботі здійснюється оцінка впливу повітряних ударних хвиль на огороження, покриті пористими шарами, розглядаються питання щодо безпечної організації робочих місць при лабораторних дослідженнях та вимоги до мікроклімату робочих приміщень під час обробки результатів досліджень та комп'ютерного моделювання.

Пріоритет життя і здоров'я працівників щодо результатів роботи в лабораторіях – один з основних принципів державної політики в галузі охорони праці.

Міжнародний досвід засвідчує, що організація праці, яка ігнорує вимоги гігієни і безпеки праці, підриває економічну ефективність підприємств і не може бути основою для сталої стратегії їх розвитку. В концепції ООН про «сталий людський розвиток» безпека праці розглядається як одна із основних (базових) потреб людини.

В лабораторії працює дослідник, в даному випадку науковий співробітник (цивільне будівництво) (2141.1)[41], який проводить дослідження оцінки впливу повітряних ударних хвиль на огороження. На нього можуть мати вплив такі шкідливі виробничі фактори (згідно [40]):

1. *Фізичні фактори*: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне, штучне (недостатня освітленість), відсутність освітлення.

2. *Фактори трудового процесу*: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці.

Важкість (тяжкість) праці – характеристика трудового процесу, що відображає рівень загальних енергозатрат, переважне навантаження на опорно-руховий апарат, серцево-судинну, дихальну та інші системи. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується,

загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі.

Напруженість праці – характеристика трудового процесу, що відображає навантаження переважно на центральну нервову систему, органи чуттів, емоційну сферу працівника. До показників, що характеризують напруженість праці, належать: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

Відповідно до визначених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

## **5.1 Технічні рішення з безпечного проведення досліджень**

### **5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць**

У лабораторії, де проводилося дослідження, встановлено випробувальний стенд, розроблений автором, для акустичних випробувань пористих шарів огороження зовнішніх стін. При цьому використовується звуковий генератор, який впливає звуковими хвилями визначених частот на пористі шари огороження.

Під час акустичних випробувань пористих шарів огороження стін звуковими хвилями у лабораторії на стенді, дотримання належних заходів безпеки є дуже важливим. Ось деякі рекомендації, які слід враховувати:

1. **Захист від шуму:** Звукові хвилі можуть бути шкідливими для слуху.

Потрібно переконайтеся, що всі працівники, які знаходяться близько до стенду, мають належний захист від шуму, такий як навушники або вушні пробки.

2. **Особистий захист:** Всі працівники, що беруть участь у випробуваннях, повинні мати на собі відповідний захист, такий як захисні окуляри, рукавиці, відповідний одяг і взуття. Це забезпечить їх безпеку під час випробувань.

3. Зони безпеки: Встановити відповідні зони безпеки навколо стенду для уникнення доступу недозволених осіб або персоналу, які не мають прямого стосунку до випробовувань.
4. Освітлення: Забезпечити належне освітлення в лабораторії, щоб уникнути можливих помилок або нещасних випадків під час проведення випробовувань. Добре освітлене робоче середовище сприяє безпеці.
5. Кваліфікація персоналу: Переконайтеся, що працівники, які займаються акустичними випробовуваннями, мають достатні знання та кваліфікацію для виконання своїх обов'язків безпечно. Надайте їм необхідну підготовку та навчання з питань безпеки.
6. Моніторинг параметрів: Встановити систему моніторингу параметрів, таких як тиск, температура та вібрація, щоб слідкувати за станом обладнання та вчасно виявляти будь-які аномалії. Це дозволить вжити відповідних заходів у разі потенційної небезпеки.
7. Екстрена інформація та евакуація: Потрібно розробити план надзвичайних ситуацій, який включатиме процедури надання першої допомоги, повідомлення про аварійні ситуації та евакуацію працівників у разі потреби. Усі працівники повинні бути ознайомлені з цими процедурами.
8. Регулярне обслуговування та інспекція обладнання: Потрібно періодично перевіряти та обслуговувати усі пристрої, використовувані під час випробовувань. Це допоможе уникнути несправностей та зберегти безпеку під час роботи.
9. Достатність простору приміщення. Щоб на одного працівника було не менше 6 м<sup>2</sup> робочого простору.

Вимірювання захисних функцій огороження під впливом звукового тиску проводили, використовуючи захищений звуковий канал, чутливі мікрофони та осцилограф, встановлений на персональному комп'ютері, за допомогою встановленої програми [42].

Конструкція робочого місця, його розміри(не менше 6 м<sup>2</sup> на одного працівника), і взаємне розташування елементів (органів управління, засобів відображення інформації, допоміжного обладнання тощо) повинні забезпечувати безпеку при використанні спеціального дослідного обладнання за призначенням, технічне обслуговування, ремонт та прибирання, а також відповідати ергономічним вимогам.

Розміри робочого місця і розміщення його елементів повинні забезпечувати виконання робочих операцій в зручних робочих позах і не ускладнювати рухів працюючого.

Для живлення обладнання використовували вбудовані акумулятори напругою 12 вольт, які заряджались від мережі 220В.

Перед початком роботи проводиться перевірка роботи і справність устаткування і приладів. Під час роботи в лабораторії потрібно дотримуватися чистоти, порядку і правил охорони праці.

### **5.1.2. Електробезпека**

У приміщенні, де виконуються лабораторні дослідження по впливу повітряних ударних хвиль на огороження, покрите пористими шарами для живлення обладнання та системи освітлення використовується однофазна трьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 220В

Електротехнічне устаткування: апаратури, кабелі, розподільні пристрої всіх видів і напруг по своїх номінальних параметрах задовольняє умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перенапругах, перевантаженнях.

Згідно із ПУЕ [43] в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, використанням малих напруг.

## 5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат у робочій зоні визначає з одного боку характер виробничих процесів, з іншого – природні джерела теплоти і вологості, що дають ефект нагрівання або охолодження організму.

Нормується мікроклімат на робочому місці розробника згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [44].

Робота наукового співробітника за енерговитратами відноситься до категорії І б [40]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	40-60	0,1-0,3
Холодний	20-24	75	0,2

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено: система опалення, система кондиціонування, систематичне (раз за зміну) вологе прибирання.

### 5.2.2. Склад повітря робочої зони

Для гігієнічної оцінки умов праці на робочих місцях з метою їх контролю на відповідність діючим санітарним правилам і нормам, гігієнічним нормативам та видачі відповідного гігієнічного висновку використовують такі документи:

– Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів у лабораторії, важкості та напруженості трудового процесу, затверджена наказом Міністерства охорони здоров'я України від від 08.04.2014 № 248 [40];



– Перелік речовин, продуктів, використаних при лабораторних дослідженнях, побутових та природних факторів, канцерогенних для людини, затверджений наказом МОЗ № 1054 від 20.06.2022 [45];

Необхідно здійснювати природну або примусову вентиляцію, з метою виведення з приміщення забрудненого повітря (пил та озон) на вулицю. Джерелами цих речовин є офісна техніка (сканери та принтери), сам пристрій для вимірювання акустичних хвиль (акустичні вібрації) та в процесі виготовлення експериментальних пристроїв. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, повинні відповідати допустимим нормам (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см <sup>3</sup>	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціонування та вологого прибирання.

### 5.2.3 Виробниче освітлення

Правильно спроектоване і виконане виробниче освітлення покращує умови зорової роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці, благотворно впливає на виробниче середовище, надаючи позитивну психологічну дію на працюючу, підвищує безпеку праці і знижує травматизм.

Штучне освітлення в приміщенні здійснюється системою загального рівномірного освітлення. Природне освітлення здійснюється через вікна, орієнтовані переважно на північний схід.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для I поясу світлового клімату) при природному та сумісному освітленні відповідно до [46] зазначені у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість, лк		КПО, $e_n$ , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3 -0,5	2	A	великий	світлий	500/ 300	400	3,5	1,2	2,1	0,7

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

1) для місцевого освітлення передбачені пересувні лампи на спеціальних шарнірах. Кріплення світильника передбачає можливість його переміщення у відповідності з індивідуальними особливостями працівника;

2) у полі зору працюючого з дисплеєм не повинні знаходитися вікна і освітлювальні прилади;

3) віконні отвори в приміщенні бути обладнані регульованими світлозахисними пристроями (жалюзі);

4) для забезпечення нормованих значень освітленості в приміщеннях з ПК необхідно проводити чистку вікон і світильників по необхідності, але не рідше двох разів на рік і своєчасну заміну перегорілих ламп.

#### 5.2.4 Виробничий шум

Джерелами шуму під час лабораторних експериментів є: працююча техніка (ПК, принтер, сканер), та персонал, що знаходиться у приміщенні, зайнятий безпосередньо виготовленням і випробовуванням експериментальних винаходів.

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку відображені в ДСН 3.3.6.037-99 [47]. Допустимі рівні звукового тиску для виконання роботи наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Вимірювальні та аналітичні роботи в лабораторії	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60

#### 5.2.5. Випромінювання у лабораторії

На робочому місці, де здійснюється лабораторне дослідження електромагнітне випромінювання відсутнє.

Для забезпечення безпеки наукового співробітника в лабораторії необхідно дотримуватися вимог НПАОП 0.00-7.15-18 [48] та встановленого режиму часу під час роботи з ПК.

### 5.2.6 Психофізіологічні фактори

Вивчення трудової діяльності передбачає визначення фізіологічного змісту праці (фізичне навантаження; нервова й емоційна напруженість; ритм, темп і монотонність роботи, обсяги інформації, яку одержують і переробляють). Ці дані дозволяють визначити навантаження на організм під час роботи і розробити раціональні режими праці та відпочинку, раціональну організацію робочого місця, провести професійний відбір і таким чином забезпечити оптимальну працездатність людини на протязі тривалого часу.

Оцінка психофізіологічних факторів під час лабораторних досліджень здійснюється відповідно до Гігієнічної класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [40].

Робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни;

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – творча діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму;.

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) – до 5-75%;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

Спостереження за екранами моніторів (годин на зміну) – 4-6год.

Навантаження на голосовий апарат ( протягом тижня) – від 16 до 20.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Режим праці:

Тривалість робочого дня – більше 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

За зазначеними показниками важкості та напруженості праці, робота, яка виконується належить до допустимого класу умов праці (напруженість праці середнього ступеня).

### **5.3 Заходи безпеки при проведенні досліджень**

У рамках даної дипломної роботи проводяться експериментальні дослідження з впливу повітряних ударних хвиль на огороження, покрите пористими шарами. З метою забезпечення безпеки під час проведення експериментів, необхідно дотримуватись заходів безпеки з охорони праці та цивільного захисту. Даний розділ присвячений опису заходів безпеки в лабораторії під час проведення експериментальних досліджень, визначенню аварійних ситуацій, їх можливих причин та розробці заходів безпеки для їх запобігання та випадку їх виникнення.

Заходи безпеки під час проведення експериментальних досліджень в лабораторії

#### **5.3.1. Оснащення лабораторії**

Перед початком експериментів необхідно переконатися у належному оснащенні лабораторії. Це включає перевірку наявності необхідного обладнання, засобів захисту та датчиків безпеки, які забезпечують контроль небезпек і можуть вчасно сигналізувати про них.

### **5.3.2. Захист персоналу**

Перед початком досліджень необхідно ознайомити персонал лабораторії з правилами безпеки, пов'язаними з проведенням експериментів з вибуховими ударними хвилями. Всі учасники повинні мати належну кваліфікацію та знання про заходи безпеки. Рекомендується провести навчання персоналу щодо теорії практики роботи з вибуховими матеріалами, а також ознайомити їх зі спеціальними протоколами та процедурами безпеки, які необхідно дотримуватись під час проведення досліджень.

### **5.3.3. Планування експериментів**

Перед початком експериментів необхідно ретельно спланувати їх хід та врахувати можливі ризики. Розроблення детального плану досліджень дозволить ідентифікувати потенційні небезпеки та вжити необхідні заходи безпеки для їх уникнення. Планування повинно включати такі елементи:

а) Визначення необхідних засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), таких як захисні окуляри, взуття, рукавиці, маски тощо. Кожен учасник експерименту повинен мати належний ЗІЗ, відповідно до характеру роботи, що виконується.

б) Встановлення меж безпеки та захистних зон. Необхідно чітко визначити безпечну відстань для персоналу від місця проведення експериментів та встановити обов'язкову зону відсутності людей. Захистні зони повинні бути чітко виділені та позначені.

в) Вивчення властивостей використовуваних матеріалів. Перед експериментом необхідно детально вивчити властивості вибухових матеріалів, їх реактивність, стабільність та можливість генерації ударних хвиль. Це допоможе уникнути непередбачених ризиків та підвищить загальну безпеку.

г) Розроблення сценаріїв невдач та аварій. Необхідно прорахувати можливі сценарії невдач та аварійні розробити план дій на випадок їх виникнення. Це включає ідентифікацію можливих причин аварійних ситуацій, таких як неправильна дозування вибухових матеріалів, неконтрольований розрив контейнерів або недостатня стійкість огорожень, покритих пористими шарами.

В залежності від визначених причин аварійних ситуацій, необхідно розробити відповідні заходи безпеки:

а) Дотримання правил дозування та використання вибухових матеріалів.

Важливо дотримуватись точних вимог щодо дозування та зберігання вибухових матеріалів, щоб уникнути їх неправильного використання та потенційних аварійних ситуацій. Рекомендується використовувати ваги з високою точністю для вимірювання кількості матеріалів.

б) Забезпечення стійкості огорожень. При використанні огорожень, покритих пористими шарами, важливо переконатися, що вони мають достатню стійкість та міцність. Рекомендується перевірити стан огорожень перед початком експерименту та забезпечити їх правильне закріплення.

в) Використання безпечних контейнерів та обладнання. Під час експериментів з вибуховими матеріалами необхідно використовувати спеціальні контейнери та обладнання, які забезпечують безпеку та запобігають можливому розриву чи пошкодженню.

г) Установлення системи відстеження та контролю. Важливо встановити систему відстеження та контролю параметрів, яка дозволить оперативно реагувати на будь-які зміни, що можуть викликати аварійну ситуацію. Це можуть бути системи моніторингу тиску, температури, вібрації та інших важливих параметрів. В разі виявлення аномалій або перевищення допустимих значень, необхідно негайно припинити експеримент та вжити заходів для виключення можливих небезпек.

д) Розроблення плану евакуації та надзвичайних ситуацій. Перед початком експериментів необхідно розробити план евакуації та дати інструкції персоналу щодо поведінки у разі виникнення надзвичайних ситуацій. План повинен включати місця збору, шляхи евакуації, а також контактну інформацію для аварійних служб.

### **5.3.4 Захист від вибухових ударних хвиль**

Під час проведення експериментів з вибуховими ударними хвилями необхідно вжити заходів для захисту персоналу та забезпечення безпеки.

а) Використання відповідного персонального захисту. Учасники експерименту повинні мати на собі захисний одяг, який включає захисні окуляри, взуття, рукавиці та маски. Це допоможе зменшити ризик отримання травм та пошкоджень під час експерименту.

б) Встановлення захисних бар'єрів. Рекомендується встановити захисні бар'єри, такі як металеві або бетонні перегородки, щоб зменшити вплив ударних хвиль на персонал та обладнання. Ці бар'єри повинні бути розташовані на відповідній відстані від місця проведення експерименту.

в) Моніторинг параметрів ударних хвиль. Важливо встановити систему моніторингу параметрів ударних хвиль, таких як амплітуда, час тривалості та частота. Це дозволить оперативно виявляти зміни у характеристиках ударних хвиль і вживати необхідні заходи для захисту персоналу та обладнання.

г) Забезпечення правильної вентиляції. Під час проведення експериментів з вибуховими матеріалами важливо забезпечити належну вентиляцію приміщення. Це допоможе вивести небезпечні гази та пари, що можуть утворюватись під час вибуху.

д) Підготовка персоналу. Всі учасники експериментів повинні пройти відповідну підготовку та навчання з питань безпеки. Це включає ознайомлення з правилами та процедурами безпеки, а також тренування дій у надзвичайних ситуаціях. Регулярне оновлення знань і навичок також є важливим аспектом забезпечення безпеки.

е) Регулярне технічне обслуговування обладнання. Обладнання, яке використовується під час експериментів з вибуховими матеріалами, повинно регулярно проходити технічне обслуговування та перевірку на належну роботу. Це допоможе уникнути можливих витоків, пошкоджень чи непередбачених ситуацій під час експерименту.

ж) Запобігання неконтрольованому доступу. Для забезпечення безпеки під час експериментів необхідно забезпечити обмежений доступ до лабораторії, де проводяться дослідження з вибуховими ударними хвилями. Відповідна охорона та контроль над доступом допоможуть уникнути можливих інцидентів та



знесанкціонованого входу некваліфікованих осіб. Для цього рекомендується встановити систему контролю доступу, таку як електронні картки або біометричні системи, які обмежують доступ лише авторизованим працівникам.

з) План дій у випадку аварії. Важливо розробити детальний план дій на випадок виникнення аварійної ситуації під час експериментів з вибуховими ударними хвилями. Цей план повинен включати процедури негайної евакуації, виклику аварійних служб, встановлення контакту з відповідальними особами та надання першої допомоги потерпілим. Персонал повинен бути ознайомлений з планом дій та періодично тренуватися його виконувати.

і) Регулярна оцінка ризиків та аудит безпеки. Для постійного підвищення рівня безпеки в лабораторії, необхідно проводити регулярну оцінку ризиків та аудит безпекових процедур. Це дозволить виявити потенційні загрози та вжити відповідних заходів для їх запобігання.

Враховуючи вищевказані заходи безпеки, проведення експериментів по вибуховим ударним хвилям може бути здійснене з максимальною безпекою для персоналу та обладнання. Пріоритетом завжди повинна бути безпека всіх учасників та недопущення потенційних аварійних ситуацій.

## **Висновки**

У результаті дослідження впливу повітряних ударних хвиль на огороження, покрите пористими шарами, було виявлено, що проведення експериментів з вибуховими ударними хвилями вимагає високого рівня охорони праці та цивільного захисту. З метою забезпечення безпеки персоналу та зниження ризику виникнення аварійних ситуацій було розроблено та рекомендовано ряд заходів безпеки.

Для запобігання аварійних ситуацій було визначено потенційні ризики, такі як неправильна маніпуляція з вибуховими матеріалами, витоки, перевищення допустимих параметрів та неконтрольоване розповсюдження ударних хвиль. На основі цього були розроблені відповідні заходи безпеки, такі як правильне зберігання та обробка вибухових матеріалів, моніторинг

параметрів ударних хвиль, регулярна перевірка обладнання, розробка плану евакуації та надзвичайних ситуацій.

Дотримання цих заходів безпеки сприятиме забезпеченню безпеки під час проведення експериментів з вибуховими ударними хвилями та захисту персоналу та обладнання від можливих негативних наслідків. Регулярне оновлення знань та навичок персоналу, а також періодична оцінка ризиків і аудит безпекових процедур сприятимуть постійному поліпшенню рівня безпеки в лабораторії.

Враховуючи високу відповідальність та дбайливе дотримання заходів безпеки, експерименти з вибуховими ударними хвилями можуть бути проведені ефективно, з максимальною безпекою для всіх учасників. Постійне покращення процедур безпеки та своєчасне оновлення знань і навичок сприятимуть подальшій успішній роботі у цій області і забезпечать безпеку працівників та обладнання.

## 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 6.1 Розрахунок кошторисної вартості влаштування науково-технічної розробки

В економічному розділі обґрунтуємо економічну доцільність впровадження вибухозагороджувального бар'єру, зображеного на рис. 3.8.

Для визначення кошторисної вартості розробляємо кошторисний документ - локальний кошторис за допомогою кошторисної програми «Будівельні технології – Кошторис» (табл.6.1).

Вони розроблялися на основі:

ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи; поточних цін на матеріали, вироби та конструкції, загально виробничі витрати розраховані відповідно до усереднених показників додатка 18 до Настанови визначення вартості будівництва [49].

Кошторисна вартість влаштування конструкцій враховує трудовитрати та заробітна плата будівельників та машиністів, кількість та вартість матеріальних ресурсів, експлуатації будівельних машин та механізмів. Кошторисна вартість влаштування конструкцій визначається як сума прямих та загальновиробничих витрат.

Прямі витрати (ПВ) враховують в своєму складі заробітну плату робочих, вартість експлуатації будівельних машин та механізмів, вартість матеріалів, виробів та конструкцій.

Загальновиробничі витрати (ЗВВ) – це витрати будівельно-монтажної організації, які входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Усі затрати, які відносяться до ЗВВ, згруповані в три групи.

Для розрахунку прийняли розмір вставки  $1,5 \times 1,5$  м, площею  $2,25$  м<sup>2</sup>.

(найменування об'єкта будівництва)

## Таблиця 6.1 - Локальний кошторис на будівельні роботи № 02-001-005

а	н	найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури		кошторисна вартість		кошторисна заробітна плата		кошторисна заробітна плата		кошторисна заробітна плата		кошторисна заробітна плата	
		о	с	к	р	к	р	к	р	к	р	к	р
ОСНОВА:													
креслення(специфікації)№													
Складений в поточних цінах станом на 22023 р.													
КОШТОРИСНА ВАРТІСТЬ													
КОШТОРИСНА ЗАРОБІТНА ПЛАТА													
СЕРЕДНІЙ РОЗРЯД РОБІТ													

Ч.ч.	Обрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.		Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин		
					Всього заробітної плати	екс-плати машин	Всього заробітної плати	екс-плати машин	на одиницю	всього	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ10-20-3	Заповнення віконних прорізів готовими блоками площею до 3 м2 з металопластмасу в кам'яних стінах житлових і громадських будівель	100 м2 прорізів	0.0225	131299.94	674.98	2954	193	15	113.3500	2.55
	ТСО-4-2	Витрати труда робітників-будівельників розряду 4,2	люд-год	113.35	75.56		192.71	192.71			
	КБМ203-1090	Підйомні вантажопасажицькі, вантажопідйомність 0,8 т	маш-г	4.46	151.34	151.34	15.19		15.19	1.2100	0.1214
	КБМ270-119	Шуруповертти	маш-г	8.03	1.11	94.08	0.20		9.44		
	КБМ270-135	Перфоратори електричні	маш-г	9.82	1.46		0.32				
				0.22095							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	С112-73	Дошки необрізані з хвойних порід, довжина 4-6,5 м, усі ширини, товщина 25 мм, III сорт	м3	0.0031 0.00007	7189.54		0.50				
	С113-1901	Труби металопластикові	м	54.0 1.215	2244.43		2726.98				
	С1110-138	Канати спіральні, тип ТК, конструкція 1х19[1+6+12], маркірувальна група 1570 Н/мм <sup>2</sup> і менше, із сталевого оцинкованого дроту марки В, діаметр	10м	5.4 0.1215	151.01		18.35				
		Разом прямих витрат по кошторису					2954	193	15		2.55
		Разом прямих витрати в тому числі:				грн.	2954		9		0.12
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	2746				
		вартість ЕММ				грн.	15	9			
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.					
		заробітна плата робітників				грн.		193			
		всього заробітна плата				грн.		202			
		Загальновиборбичні витрати				грн.	112				
		трудомісткість в загальновиборбичних витратах				люд-г					0.32
		заробітна плата в загальновиборбичних витратах				грн.					
		Всього по кошторису				грн.	3066				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					
		Кошторисна заробітна плата				грн.		238			2.99

Таблиця 6.1 - Результати влаштування розробленої конструкції

Кошторисна вартість	3.066	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0.00299	тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата	0.238	тис. грн.

## 6.2 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки

Аналізуючи напрямки проведення науково-технічних розробок, розрахунок економічної ефективності проведемо на основі прогнозованих розрахунків потреби на ринку даної конструкції.

Майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:  $\Delta N$  – збільшення кількості споживачів конструкції, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик;  $N$  - кількість споживачів, які використовували аналогічну конструкцію у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки;  $C_o$  – вартість конструкції у році до впровадження результатів розробки;  $\pm \Delta C_o$  – зміна вартості пристрою (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізовані періоди часу.

Для нашого випадку можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора  $\Delta \Pi_i$  для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta \Pi_i = (C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right), \quad (6.1)$$

де  $\pm \Delta C_o$  – зміна основного якісного показника від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізованому році. Зазвичай, таким показником може бути зміна ціни реалізації одиниці нової розробки в аналізованому році;  $\pm \Delta C_o$  може мати як додатне, так і від'ємне значення

(від'ємне – при зниженні ціни відносно року до впровадження цієї розробки, додатне – при зростанні ціни);

$N$  – основний кількісний показник, який визначає величину попиту на аналогічні чи подібні розробки;

$C_o$  – основний якісний показник, який визначає ціну реалізації нової науково-технічної розробки в аналізованому році,  $C_o = C_o \pm \Delta C_o$ ;

$C_o$  – основний якісний показник, який визначає ціну реалізації існуючої (базової) науково-технічної розробки у році до впровадження результатів;

$\Delta V$  – зміна основного кількісного показника від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізованому році. Зазвичай таким показником може бути зростання попиту на науково-технічну розробку в аналізованому році (відносно року до впровадження цієї розробки);

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2022 році ставка податку на додану вартість становить 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ ;

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту (послуги). Рекомендується брати  $\rho = 0,2...0,5$ ;

$\vartheta$  – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2022 році  $\vartheta = 18\%$ .

Впровадження проекту дозволить збільшити початкову ціну 3500 кожного проекту на 500 грн, враховуючи попит та ціни конкурентів. Також прогнозується, що попит на даний продукт зросте, оскільки даний продукт відрізняється якістю та мобільністю від конкурентних.

Попит збільшиться за перший рік на 1500 замовлень, а за наступний – на 1700 та протягом третього року – ще на 1900 замовлень.

Коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту, дорівнює 0,3.

Отже, розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства на 2023 - 2025 рр.:

$$\Delta\Pi_{2023} = ((3500 + 1500) \cdot 1500) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1229951$$

$$\Delta\Pi_{2024} = ((3500 + 500) \cdot 1700) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1742430$$

$$\Delta\Pi_{2023} = ((3500 + 500) \cdot 1900) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1475941$$

Далі розраховуємо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків  $\Pi\Pi$ , що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$\Pi\Pi = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^i}, \quad (6.2)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

$T$  – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні,  $\tau = 0,05 \dots 0,25$ ;

$t$  – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

Період часу, протягом якого виявляються результати впровадження НДР, складає 2 роки. Прогнозований щорічний рівень інфляції становить 0,25.

Розрахуємо приведену вартість всіх чистих прибутків за формулою (6.2):

$$\Pi\Pi = \frac{1229951}{(1 + 0,25)^2} + \frac{1742430}{(1 + 0,25)^3} + \frac{1475941}{(1 + 0,25)^4} = 2283838 \text{ (грн.)}$$



Розраховуємо величину початкових інвестицій  $PV$ , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{инв} \cdot B, \quad (6.3)$$

де  $k_{инв}$  – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науко-во-технічної розробки та її комерціалізацію, зазвичай  $k_{инв} = 2 \dots 5$ , але може бути і більшим;

$B$  – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

$$PV = 5 \cdot 3066 = 15330 \text{ (грн)}$$

Тоді абсолютний економічний ефект  $E_{abc}$  або чистий приведений дохід від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{abc} = ПП - PV, \quad (6.4)$$

де  $ПП$  – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, грн;

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій, грн.

$$E_{abc} = 2282838 - 15330 = 2268508 \text{ (грн)}$$

Оскільки  $E_{abc} > 0$ , то це означає що результат від наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, тобто вкладання коштів на виконання та впровадження результатів наукової роботи може бути доцільним та інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даної роботи.

Внутрішня економічна дохідність інвестицій  $E_s$ , які можуть бути вкладені, розраховується за формулою:

$$E_s = T_{жс} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (6.5)$$

де  $E_{абс}$  – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, грн;

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій, грн;

$T_{жс}$  – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, роки.

$$E_s = 4 \sqrt[4]{1 + \frac{2268508}{15330}} - 1 = 2,67$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій  $\tau_{мін}$  визначається за формулою:

$$\tau_{мін} = d + f, \quad (6.6)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2020-2023 роках  $d = 0,9...0,12$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій; зазвичай величина  $f = 0,05...0,5$ , але може бути і значно вищою.

$$\tau_{мін} = 0,2 + 0,3 = 0,5$$

Величина  $E_s > \tau_{мін}$ , то потенційний інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні впровадження науково-технічної розробки та виведенні її на ринок, тобто в її комерціалізації.

Далі розраховуємо період окупності інвестицій за виразом:

$$T_{ок} = \frac{I}{E_{\epsilon}}, \quad (6.7)$$

де  $E_{\epsilon}$  – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = \frac{1}{2,67} = 0,37$$

Оскільки  $T_{ок} < 4$ -х років, то фінансування розробки буде доцільним.

### **Висновки**

В даному розділі був складений локальний кошторис за допомогою кошторисною програми для визначення кошторисної вартості влаштування вибухозагороджувального бар'єру. Кошторисна вартість становить 3066 грн на 2.5 м<sup>2</sup>. Пораховані показники економічної ефективності впровадження проекту: Чиста приведена вартість становить 2268508 грн; Строк окупності 0,37 роки; внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій більше мінімальної внутрішньої економічної дохідності вкладених інвестицій. Економічно доцільно впроваджувати даний проект.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Вивчення впливу ударних хвиль на об'єкти, розташовані поблизу джерела вибуху, має велике практичне значення при вирішенні питань безпеки і захисту людей і споруд від наслідків вибуху. Стратегія боротьби з вибухами і здійснення заходів щодо пом'якшення наслідків вибуху вимагають уваги і рішень з етапу планування і проектування, так як в подальшому в процесі експлуатації об'єкта рішення цього кола завдань стає або більш складним, або неможливим.

У даній роботі були вирішені наступні завдання:

1. Розглянуті підходи в оцінці параметрів ударних хвиль, показані безпечні відстані для будівель за критерієм максимально можливого вибухового навантаження при зовнішньому вибуху.

2. Досліджено параметри меж деформації конструкції огороження покритого пористими шарами під впливом повітряної ударної хвилі при вибуху. Узагальнено принципи вибухозахищеного проектування та основні підходи до підвищення вибухостійкості будівель і споруд.

3. Розроблено алгоритм, що дозволяє візуалізувати відсоток пошкоджень будівель і споруд в результаті впливу вибухових навантажень.

4. Розроблені нові конструкції спеціальних захисних пристроїв для віконних прорізів, які можуть мінімізувати вплив ударної хвилі на будівлю.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пат. US20060027419A1. МПК В64F 1/26. Пристрій поглинання хвилі стиснення вибуху, опубл. 9.02.2006. URL: <https://patents.google.com/patent/US20060027419A1/en?q=US20060027419A1>
2. Пат. EA010812B1. МПК F42D 5/45. Удосконалений пристрій для ослаблення акустичних та/або ударних хвиль, опубл. 30.12.2008). URL: <https://patents.google.com/patent/EA010812B1/ru?q=EA010812B1>
3. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей: рук. по безопасности: приказ Ростехнадзора от 31 марта 2016 г. № 137. Сер.27. Вып. 15. Москва: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. 44 с.
4. Попов Н. Н. Динамический расчет железобетонных конструкций / Н. Н. Попов, Б. С. Расторгуев. Москва: Стройиздат, 1974. 207 с.
5. Корольченко А.Я. Процессы горения и взрыва. Москва: Пожнаука, 2007. 266 с.
6. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. Москва: Химия, 1991. 432 с.
7. Маршалл В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ. Москва: Мир, 1989. 672 с.
8. Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. Москва: РАО «Газпром», 1996. 208 с.
9. Kingery C.N. and Bulmash G., «Airblast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst», Report ARBL-TR-02555, U.S. Army BRL, Aberdeen Proving Ground, MD, 1984.
10. Комаров А.А. Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва: МГСУ, 2001. 460 с.
11. Корольченко А.Я. Процессы горения и взрыва. Москва: Пожнаука, 2007. 266 с.
12. Kingery C.N. and Bulmash G., «Airblast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst», Report ARBL-TR-02555, U.S. Army BRL, Aberdeen Proving Ground, MD, 1984.
13. CONWER (1991) Conventional weapons effects program, Version 2.00 US Army Engineer Waterways Experimental Station, Vicksburg, MS, USA.
14. Бирбраер А.Н., Роледер А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. Санк.Пб: Издво Политехн. ун-та, 2009. 594 с.
15. Мартынюк В.Ф. Лекции по теории горения и взрыва: учеб. пособие. Москва: Изд. центр РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2014. 184 с.

16. Садовский М.А. Механическое действие воздушных ударных волн по данным экспериментальных исследований. В кн.: Физика взрыва, Москва: АН СССР. 1952. №1 С.20.
17. Bajić, Z. Determination of TNT equivalent for various 15. Explosives. University of Belgrade, Belgrade, 2007. Master's Thesis.
18. Расчет зон разрушения зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах/ К.В. Ефремов, М.В. Лисанов, А.С. Софьин и др.// Безопасность труда в промышленности. 2011. № 9. С. 70–77.
19. Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ: рук. по безопасности. Сер. 27. Вып. 11. Москва: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. 130 с.
20. Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах: рук. по безопасности: приказ Ростехнадзора от 13 мая 2015 г. № 189. Сер. 27. Вып. 17. Москва: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. 78 с.
21. Бирбраер А.Н., Роледер А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. Санк. Пб: Издво Политехн. ун-та, 2009. 594 с.
22. ДБН В.1.2.-2:2006. Навантаження і впливи: [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінбуд України, 2006. 59 с. (Державні будівельні норми України)
23. Расторгуев Б.С, Плотников А.И., Хуснутдинов Д.З. Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях. Москва: изд-во АСВ, 2007. 152с.
24. Пособие по обследованию и проектированию зданий и сооружений, подверженных воздействию взрывных нагрузок. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200069775> (дата звертання: 30.04.2023).
25. American Society of Civil Engineers «Design of blast resistant buildings in petrochemical facilities». New York, 2010. 318 p.
26. Gebbeken, N., and Döge, T. (2010). Explosion protection: Architectural design, urban planning and landscape planning. || Int. J. Protective Struct., 1(1), 1–21.
27. Невская Е.Е., Глебова Е.В. Анализ способов и средств повышения уровня защиты зданий и сооружений от действия ударных волн// Безопасность труда в промышленности. 2017. № 2. С. 73–78
28. Uddin N. Blast Protection of Civil Infrastructures and Vehicles Using Composites. New York, 2010. 488 p.
29. Русских В.В, Яворський А.В., Яворська Є.А. Параметри вибухозахисних пристроїв для гасіння ударних повітряних хвиль під час підземного видобутку руд: моногр. Дніпропетровськ: НГУ, 2012. 93 с.

30. Убежища гражданской обороны. Конструкции и расчет/ В.А. Котляревский, В.И. Ганушкин, А.А. Костин, В.И. Ларионов. Москва: Стройиздат, 1989. 606 с.
31. Технічні засоби захисту стін будівель та споруд від вибухів підвищеної потужності. URL: <http://www.vst-st.ru/tszs.html/> (дата звернення: 26.04.2023).
32. Гельфанд, М.В. Сильников. Фугасные эффекты взрывов. Санк.Пб.: ООО «Издательство «Полигон», 2002. 272 с.
33. Турыгина И.А. Численное моделирование взаимодействия ударных волн с проницаемыми преградами: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск., 2016. 131 с.
34. Взрывные технологии : учебник для вузов / В. В. Селиванов, И. Ф. Кобылкин, С. А. Новиков. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 519 с.
35. Нестеренко В. Ф. Импульсное нагружение гетерогенных материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. 200 с.
36. Киселев С. П. Структура ударных волн сжатия в пористых упругопластических материалах // ПМТФ. 1998 Т. 39, №6 С. 27–32.
37. Губайдуллина А.А., Дудко Д.Н., Урманчеев С.Ф. Воздействие воздушных ударных волн на преграды, покрытые пористым слоем // Вычислительные технологии, 2001, т. 6, №3, с. 7-20.
38. Султанов А.Ш. К акустической теории взаимодействия ударной волны с пористой средой: автореферат дис. ... кандидата физ. мат. наук. Уфа, 2014. 26 с.
39. Наугольных К.А. «О переходе ударной волны в акустическую» // Акустический журнал. 1972. т.8. № 4. с. 579-583.
40. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 248 від 08.04.2014. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>.
41. Національний класифікатор України. Класифікатор професій. ДК 003:2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va327609-10#Text>
42. Лучшие программы осциллографы для ПК с ОС Windows - <https://best-technologies.ru/pc/luchshie-programmy-oscillografy-dlja-pk-s-os-windows/>)
43. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>
44. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

- 45.8. Наказ МОЗ від 20.06.2022 р. № 1054 “Про затвердження Гігієнічного нормативу “Перелік речовин, продуктів, виробничих процесів, побутових та природних факторів, канцерогенних для людини” - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://document.vobu.ua/doc/14510>.
- 46.ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=79885](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885)
- 47.ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
- 48.НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. [Електронний ресурс] Режим доступу: [http://sop.zp.ua/norm\\_praop\\_0\\_00-7\\_15-18\\_01\\_ua.php](http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php)
- 49.Кошторисні норми України. Настанова з визначення вартості будівництва. З урахуванням Змін № 1, № 2. Дата початку дії, 01.01.2023. Дата прийняття, 01.11.2021. Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=96362](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=96362)
- 50.Вплив повітряних ударних хвиль на зовнішнє огороження будівель» - Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2023/paper/view/17325>



ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи Вплив повітряних ударних хвиль на огородження, покриті пористими шарами

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота  
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра БМГА, ФБЦЕІ  
(кафедра, факультет)

**Показники звіту подібності Unicheck**

Оригінальність 100 % Схожість 0 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку

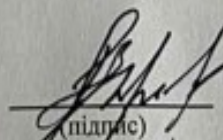
  
(підпис)

Блащук Н.В.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

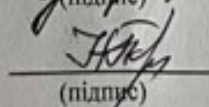
Автор роботи

  
(підпис)

Денисюк М.М.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Попович М.М.

(прізвище, ініціали)

**Додаток Б.**  
**Графічна частина**

Відомість графічної частини

№ Арк.	Найменування	Примітки
1	Тема роботи	Плакат 1
2	Мета, задачі досліджень, об'єкт досліджень	Плакат 2
3	Характеристика вибухів	Плакат 3
4	Характерний профіль ударної хвилі. Зміна тиску за фронтом УХ з відстанню	Плакат 4
5	Схеми відбиття ударної хвилі	Плакат 5
6	Послідовність пошкодження будівлі	Плакат 6
7	Траєкторії розподілення вибухового навантаження. Пластична поведінка сталевих балки	Плакат 7
8	Додаткове армування вузлів залізобетонних елементів. Конструкція зовнішньої стіни	Плакат 8
9	Лабораторні дослідження	Плакат 9
10	Результати дослідження	Плакат 10
11	Пропозиції в результаті досліджень	Плакат 11
12	Оцінка вибухостійкості панельного будинку	Плакат 12
13	Оцінка вибухостійкості цегляної будівлі	Плакат 13
14	Оцінка вибухостійкості монолітної будівлі	Плакат 14
15	Зв'язок ступеня руйнування будівлі з можливими економічними збитками	Плакат 15
16	Розрахункова схема локальних руйнувань конструкцій будівлі засобами ураження у звичайному спорядженні	Плакат 16
17	Загальні висновки	Плакат 17



## ВІДГУК ОПОНЕНТА

на магістерську кваліфікаційну роботу

студента Денисюка Михайла Миколайовича

на тему: «ВПЛИВ ПОВІТРЯНИХ УДАРНИХ ХВИЛЬ НА ОГОРОДЖЕННЯ,  
ПОКРИТЕ ПОРИСТИМИ ШАРАМИ»

Магістерська кваліфікаційна робота виконана відповідно до завдання, що затверджено зав. кафедрою БМГА, відповідає темі, містить 17 аркушів графічного матеріалу і пояснювальну записку з 118 сторінок та додатків.

Матеріал роботи подано у розгорнутому та доступному для розуміння вигляді.

У першому розділі роботи виконано доволі розгорнутий та якісний огляд робіт інших авторів із близьким напрямком дослідження, що дає добре розуміння обраної теми. У другому розділі описано руйнування конструкцій в результаті динамічного впливу, виконано аналіз шляхів і засобів підвищення рівня захисту будівель і споруд від дії вибуху. Третій розділ присвячений розробці пристрою для зниження інтенсивності падаючої ударної хвилі при вибухах, розроблена дослідна установка, виконані лабораторні дослідження пористих матеріалів у натуральному вигляді.

На основі наукових досліджень автора підготовлені матеріали і подана заявка на отримання патенту, що підкреслить наукову новизну. Четвертий розділ, технічний - оцінка ступенів руйнування житлових будинків після впливу звичайних засобів ураження виконувався за допомогою сучасних програм для виконання розрахунків. Тут отримані результати були застосовані на реальних об'єктах, а саме типових будинках міст України. Усі розрахунки виконано у відповідності до чинних норм проектування. У п'ятому розділі розроблено заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, підтвердженням можливості застосування обраного рішення до об'єктів житлової забудови. Найбільш вагомим підтвердженням усіх отриманих в роботі результатів є шоста, економічна, частина у якій здійснено розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки.

Текстова частина пояснювальної записки та графічні креслення до неї виконано відповідно до стандартів та з дотриманням усіх вимог.

До *недоліків можна віднести те*, що автором не враховано захисні властивості природних і штучних перешкод, які розташовані на прибудинкових територіях.

Проте вказаний недолік не впливає на позитивне враження від роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота у цілому виконана на достатньому рівні і заслуговує оцінку «А».

Студент Денисюк М.М. заслуговує на присвоєння ступеня магістра зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

**Опонент**  
доцент кафедри теплоенергетики, к.т.н.



Співак О.Ю.



## ВІДГУК

**керівника магістерської кваліфікаційної роботи  
студента Денисюка Михайла Миколайовича  
на тему: «ВПЛИВ ПОВІТРЯНИХ УДАРНИХ ХВИЛЬ НА  
ОГОРОДЖЕННЯ, ПОКРИТЕ ПОРИСТИМИ ШАРАМИ»**

Україна сьогодні знаходиться в умовах військового стану. Під час повітряних атак та прямих бойових зіткнень відбувається руйнування будівель та споруд. При прямому попаданні руйнуються всі будівельні конструкції. Повітряна ударна хвиля високої інтенсивності, яка утворюється в результаті вибуху, викликає руйнування будівель і вражає людей на великій відстані від епіцентру вибуху. Існуючі на даний час будівлі і вибухозахисні пристосування мають обмежені можливості та не можуть повністю вирішити задачу безпеки людей від вибухових впливів.

Для того щоб уникнути або хоча б зменшити їх руйнівну дію на людей і конструкції, використовуються різноманітні послаблюючі пристосування, такі, як конструкції з бетону, різноманітні перепони, послаблюючі споруди з використанням гранульованих матеріалів та піни, включених в еластичну оболонку, насипні перешкоди. Велика частка експлуатованих будівель в Україні мають зовнішні теплоізолюючі конструкції з різних шарів та матеріалів.

Автор дослідив вплив існуючого теплоізоляційного огородження зовнішніх стін житлових будівель з шарів пористих матеріалів на послаблення дії повітряної вибухової хвилі. Виконано аналіз характеристик та параметрів ударних хвиль, досліджено руйнування конструкцій в результаті динамічного впливу, аналіз шляхів і засобів підвищення рівня захисту будівель і споруд від дії вибуху. Проведено аналіз зарубіжних та вітчизняних робіт та публікацій по даній темі.

Виконано модельне дослідження захисних властивостей поширених пористих матеріалів, використовуваних для зовнішнього покриття стін. Автором запропоновано нові конструктивні та технологічні рішення влаштування екранів для захисту найбільш слабких місць в зовнішньому огородженні – віконних отворів.

Проведено розрахунки стійкості зовнішнього огородження будівель без покриття і з покриттям шарами пористих матеріалів (теплоізолюваних). За

основу взяті найбільш поширені серії панельних, цегляних та каркасних будівель. Розроблено заходи з охорони праці та пораховано терміни окупності запропонованих автором рішень.

Робота відповідає виданому завданню і вимогам до магістерських кваліфікаційних робіт.

Під час виконання магістерської роботи було виконано аналіз літературних джерел та фізичне моделювання на розробленій автором установці. Студент самостійно розробив план експериментальних досліджень відповідно до поставлених задач.

При виконанні роботи студент показав високий рівень підготовки, здатність самостійно приймати кваліфіковані інженерні рішення, проводити дослідження і аналізувати результати.

За результатами досліджень подано дві заявки для отримання патентів на корисну модель, які закріплять наукову новизну розробок, зроблено доповідь «Вплив повітряних ударних хвиль на зовнішнє огороження будівель» на ЛІІ Науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету та опубліковано її тези.

Студент дотримався календарного плану, виконав великий обсяг робіт і показав високий рівень підготовки.

Підготовка студента Денисюка М.М. відповідає вимогам освітньої програми.

Магістерська кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «А» (відмінно), а студент – присвоєння ступеня магістр та кваліфікації «Магістр з будівництва».

Керівник магістерської  
кваліфікаційної роботи, к.т.н., доц.



Попович М.М.

Магістерська кваліфікаційна робота

**ВПЛИВ ПОВІТРЯНИХ  
УДАРНИХ ХВИЛЬ НА  
ОГОРОДЖЕННЯ, ПОКРИТЕ  
ПОРИСТИМИ ШАРАМИ**

Науковий керівник: К.Т.Н., доц. *Попович М.М.*  
ст. гр. Б-21м *Денисюк М.М.*



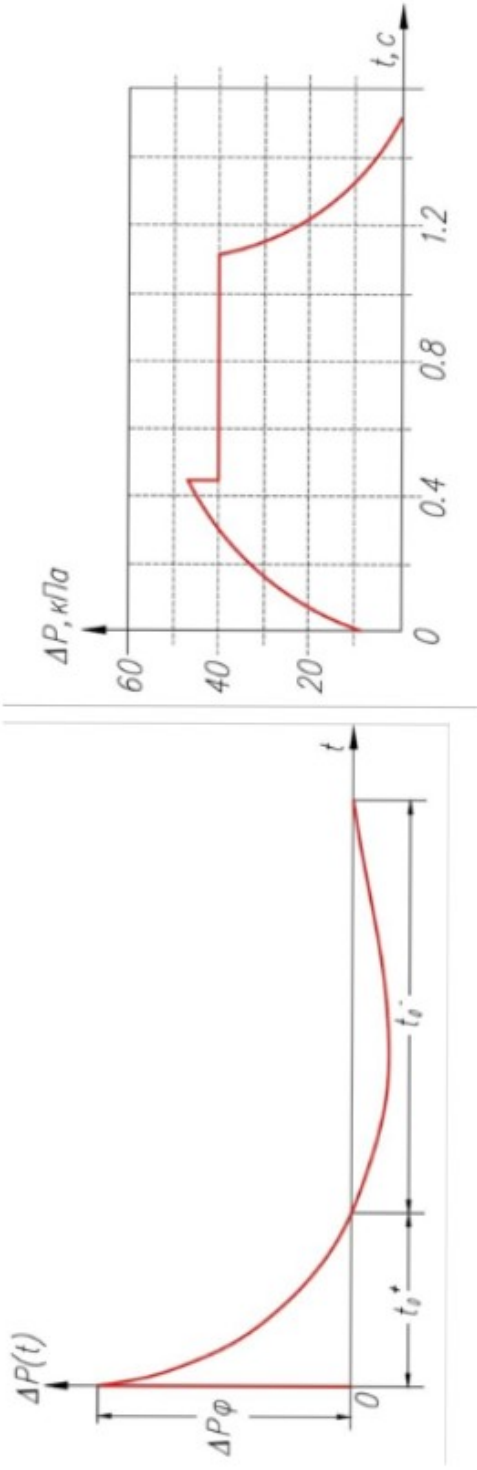
1. Підвищення стійкості будівель і споруд, а також захисту населення, шляхом розробки моделі оцінки впливу вибуху на будівлі і споруди, які знаходяться в експлуатації або проектується.
2. Створення нового типу конструкції як ефективного методу захисту від ударних хвиль і локалізації їх дії в умовах існуючої щільної забудови простору території міст.

## Задачі дослідження:

1. Проаналізувати дані про відомі пошкодження і руйнування будівель в процесі терористичних чи військових дій для виявлення загальної кількості пов'язаних з видом «вибуху».
2. Вивчити вітчизняні та зарубіжні підходи в оцінці параметрів ударних хвиль.
3. Дослідити параметри меж деформації конструкції при вибуху. Узагальнити принципи вибухозахищеного проектування і основні підходи до підвищення вибухостійкості будівель і споруд.
4. Розробити алгоритм, що дозволяє візуалізувати відсоток пошкоджень будівель і споруд в результаті впливу вибухових навантажень.
5. Розробити нову конфігурацію спеціального захисного пристрою оптимального типу, здатного мінімізувати вплив ударної хвилі на будівлю.

**Об'єкт дослідження:** Технологічна система «захисний шар – огорожувальна конструкція» в процесі сприйняття вибухових навантажень під час бойових дій

# Характеристика



Типові профілі а) детонаційних і б) дефлагаційних хвиль

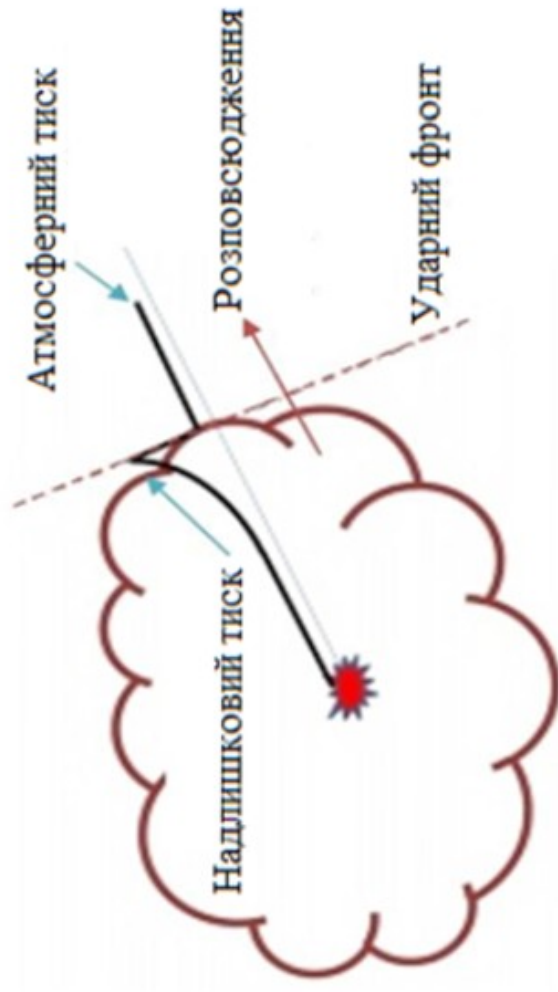
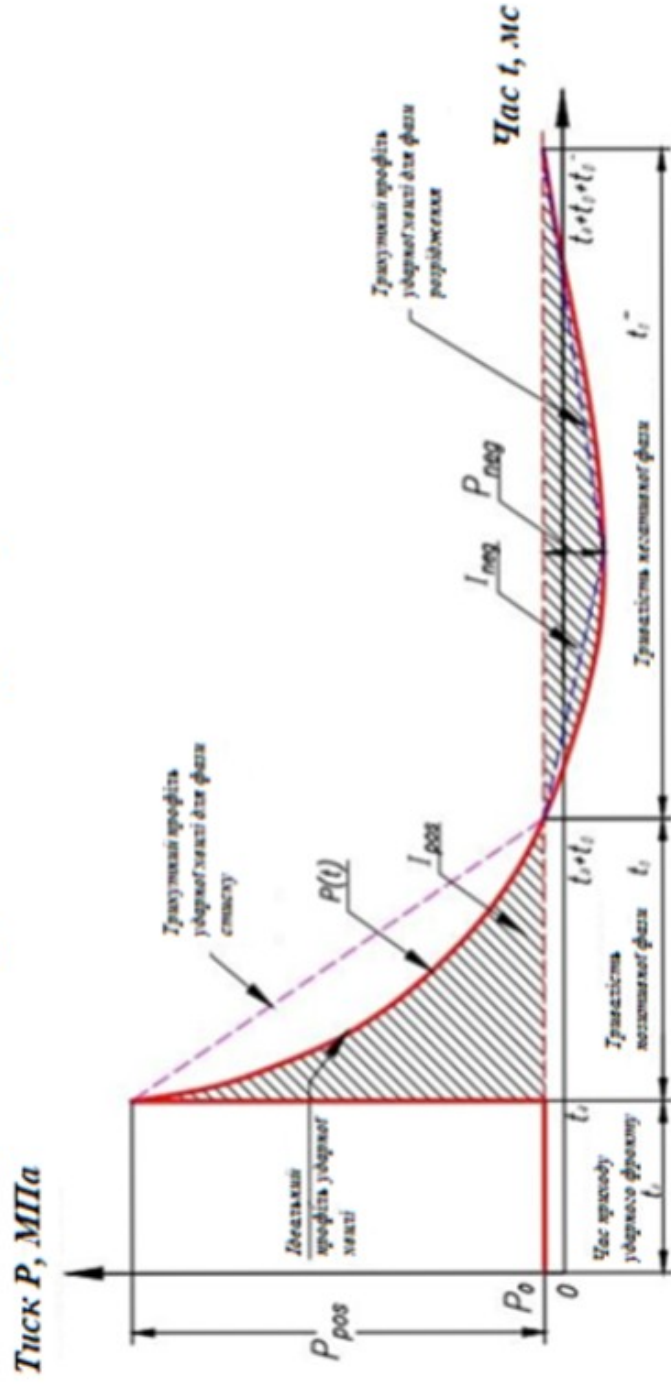


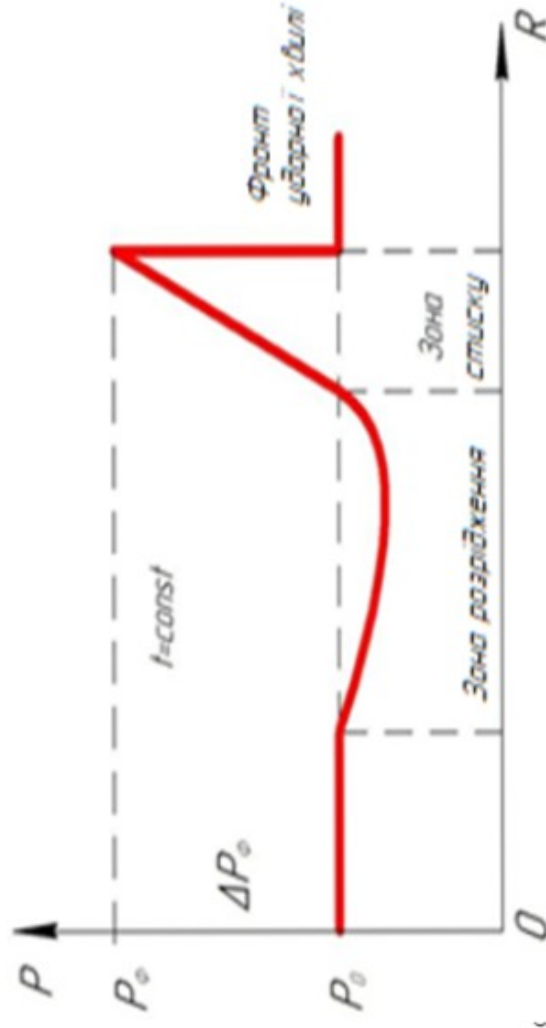
Схема розподілу тиску по вибуховій хвилі



# Характерний профіль ударної хвилі

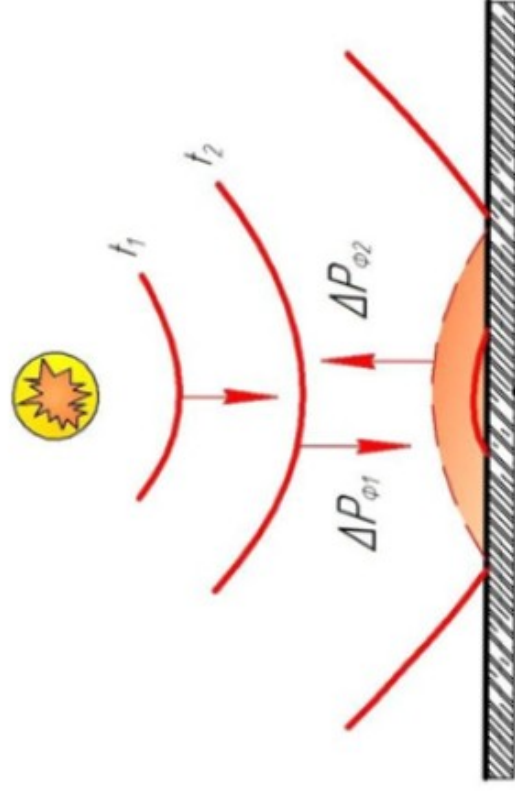


## Зміна тиску за фронтом УХ з відстанню

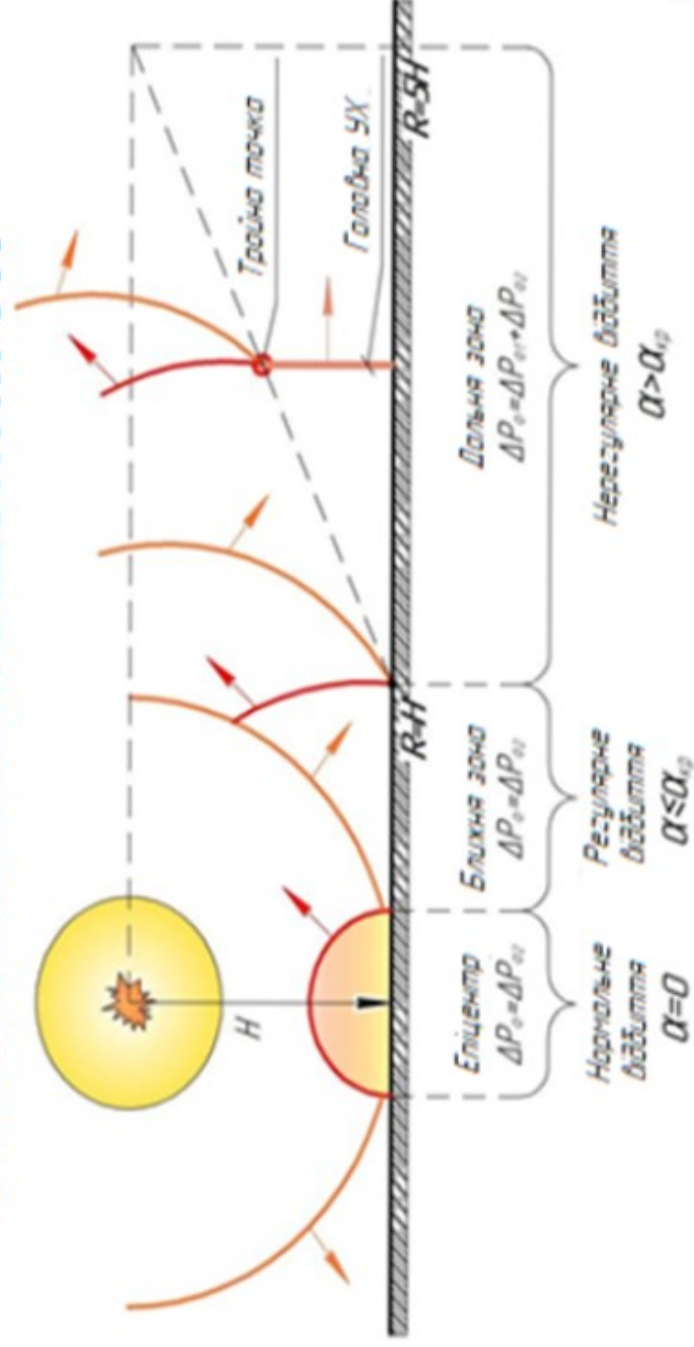


# Нормальне відбиття УХ від бар'єру

5

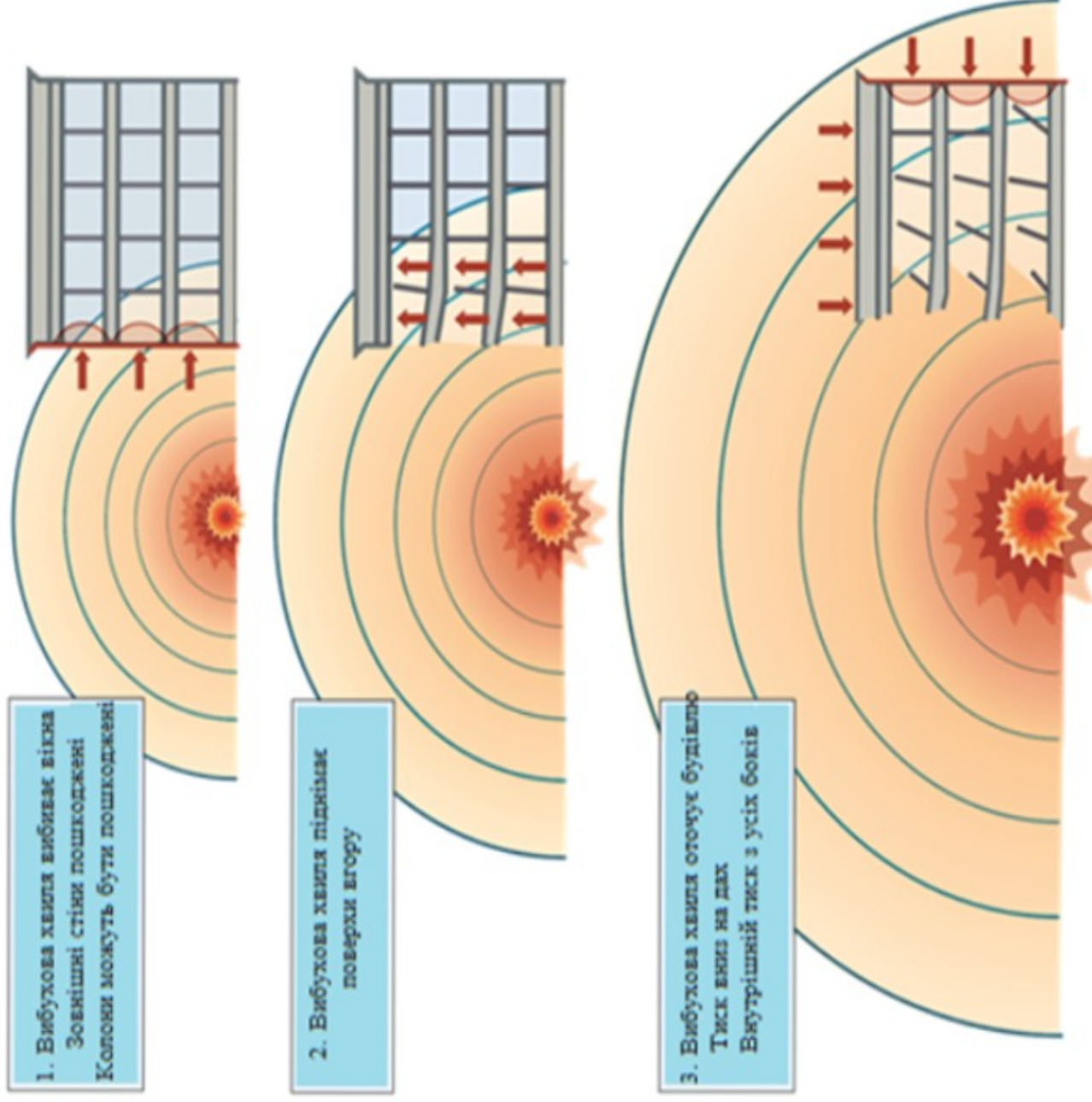


# Загальна схема відбиття УХ



# Послідовність пошкодження будівлі

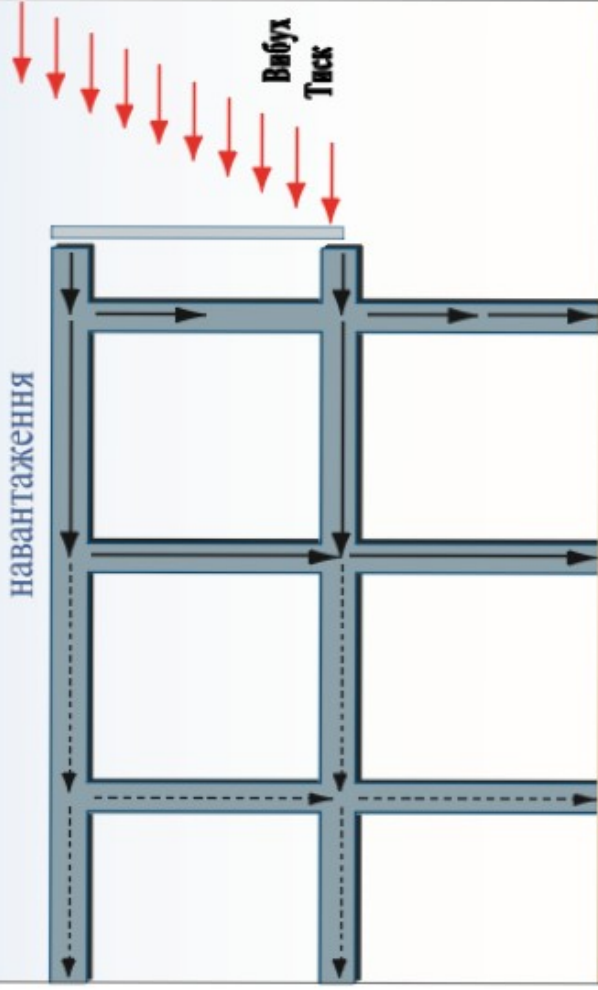
6





# Траєкторії розподілення вибухового навантаження

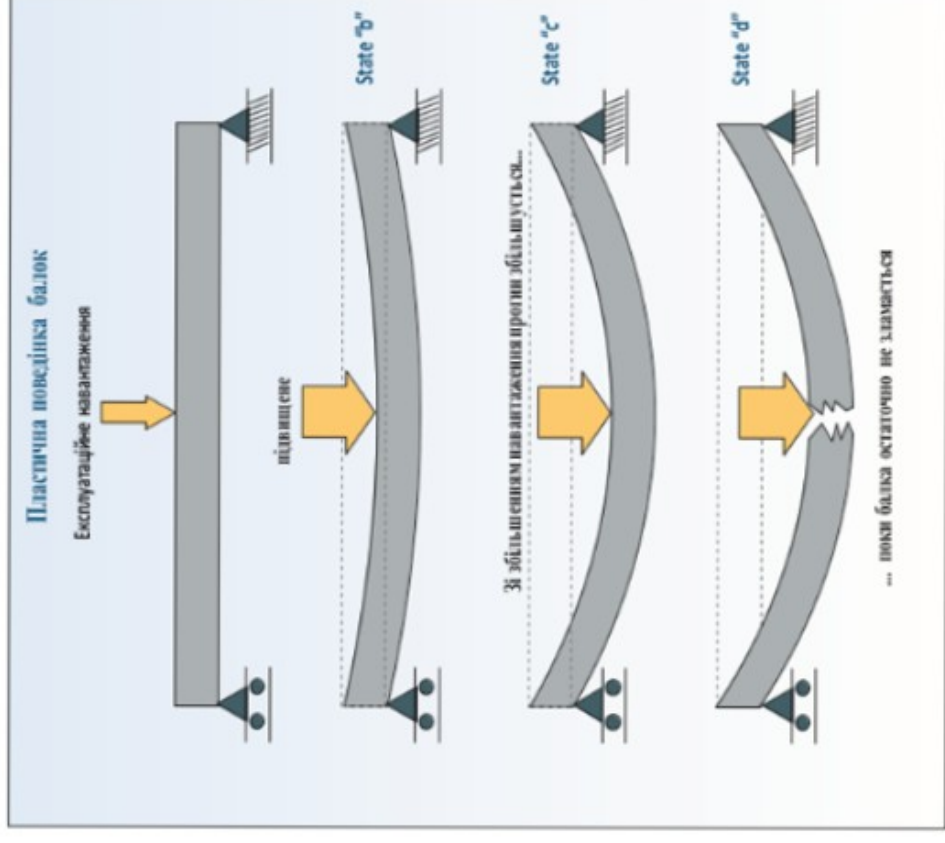
Поняття траєкторій  
навантаження



Контур

НАВАНТ  
Примітка: Оскільки шлях навантаження простягається далі від місця вибуху,  
Тяжкість навантаження зменшується, на що вказують пунктирні  
лінії

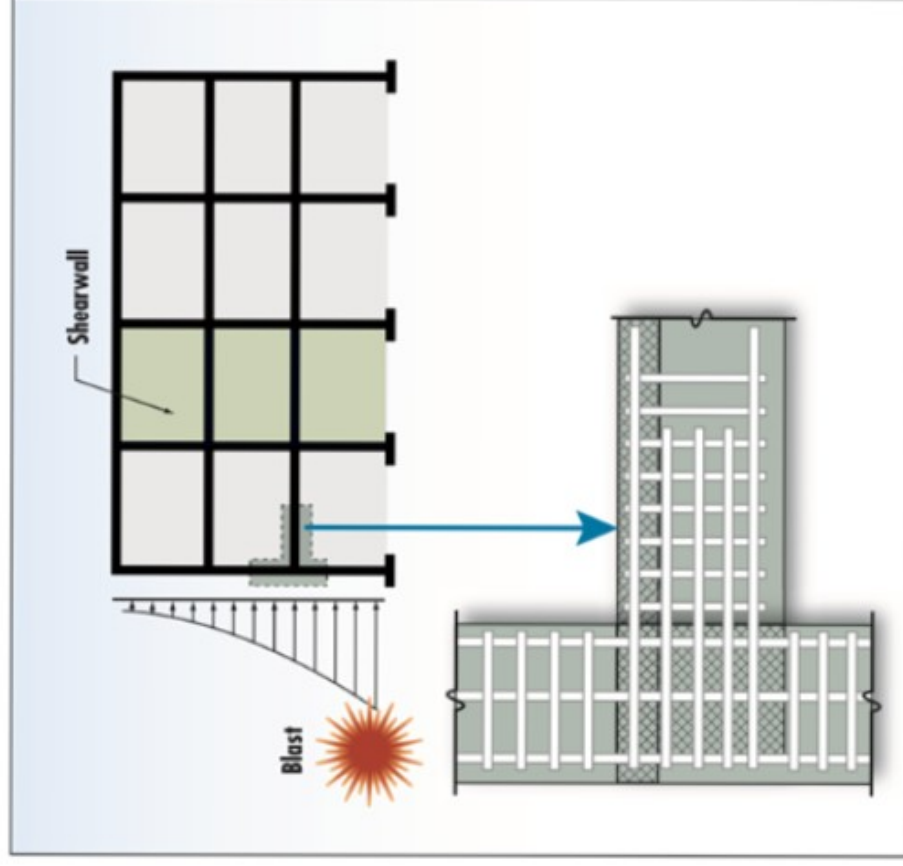
7



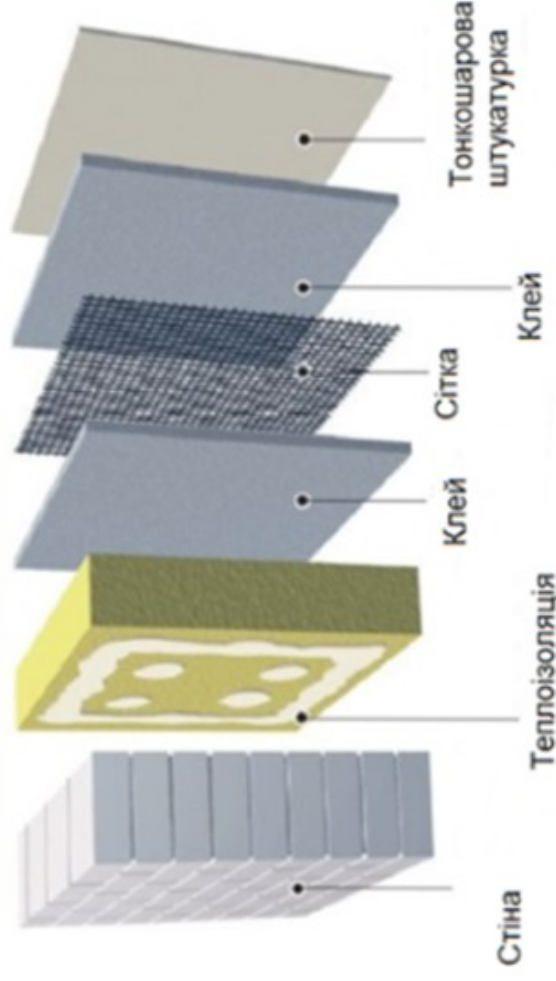
## Пластична поведінка сталеві балки

# Додаткове армування вузлів залізобетонних елементів

8

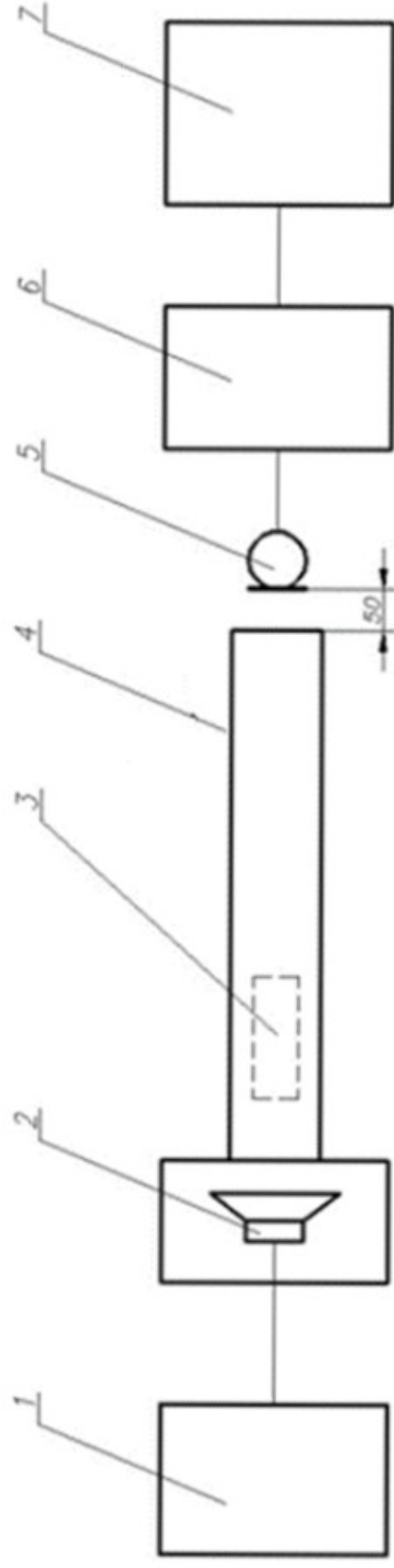


## Конструкція зовнішньої стіни



# Лабораторні дослідження

## Схема експериментальної установки



## Фото стенду експериментальної установки



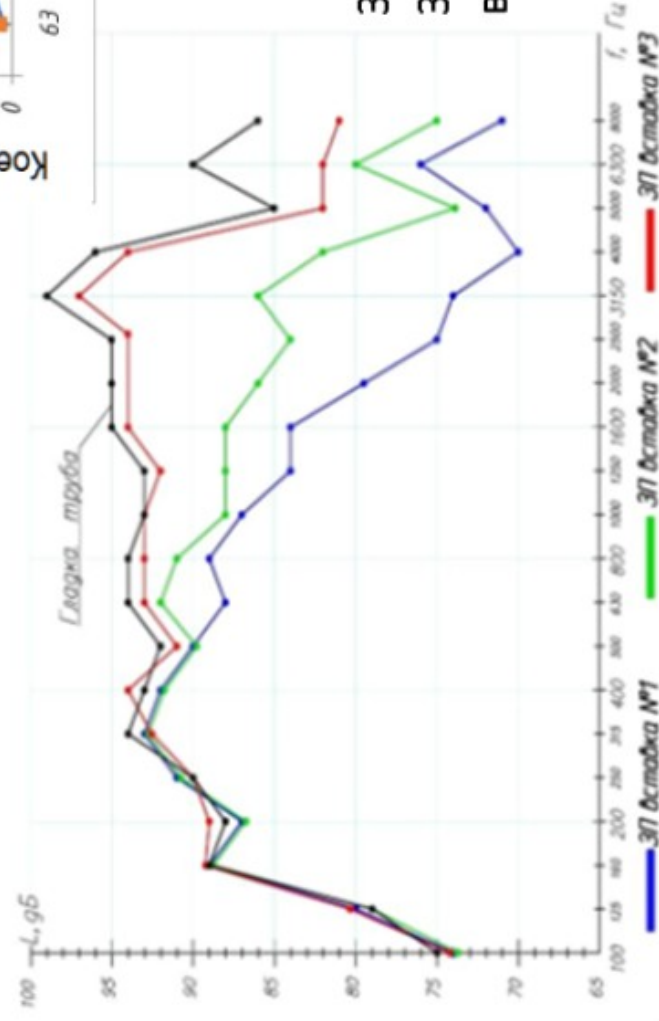


# Результати дослідження

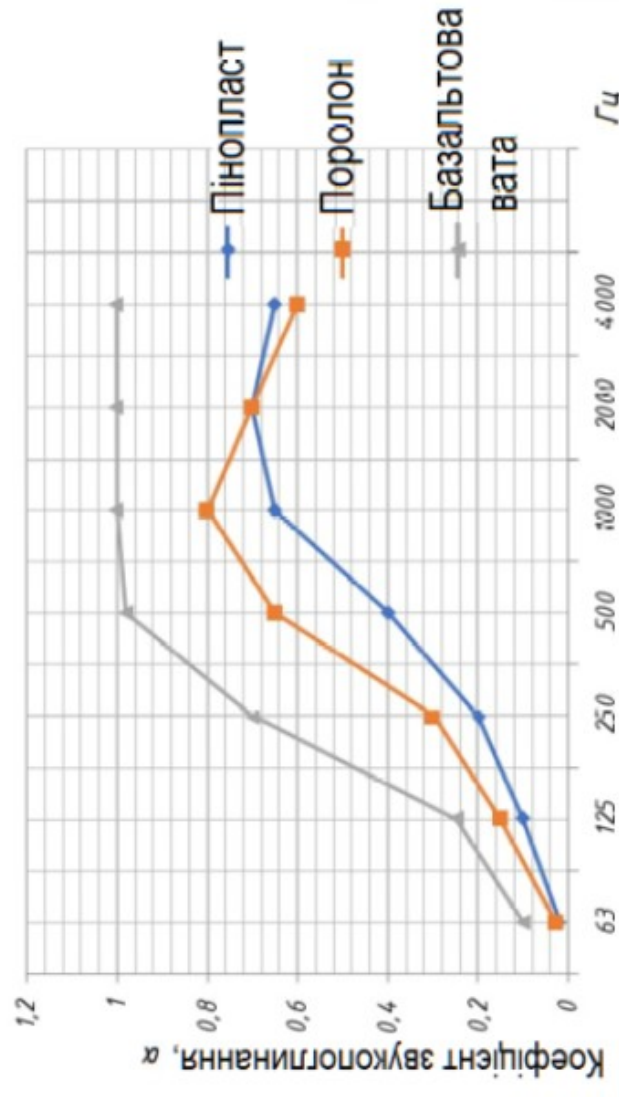
Досліджувані матеріали



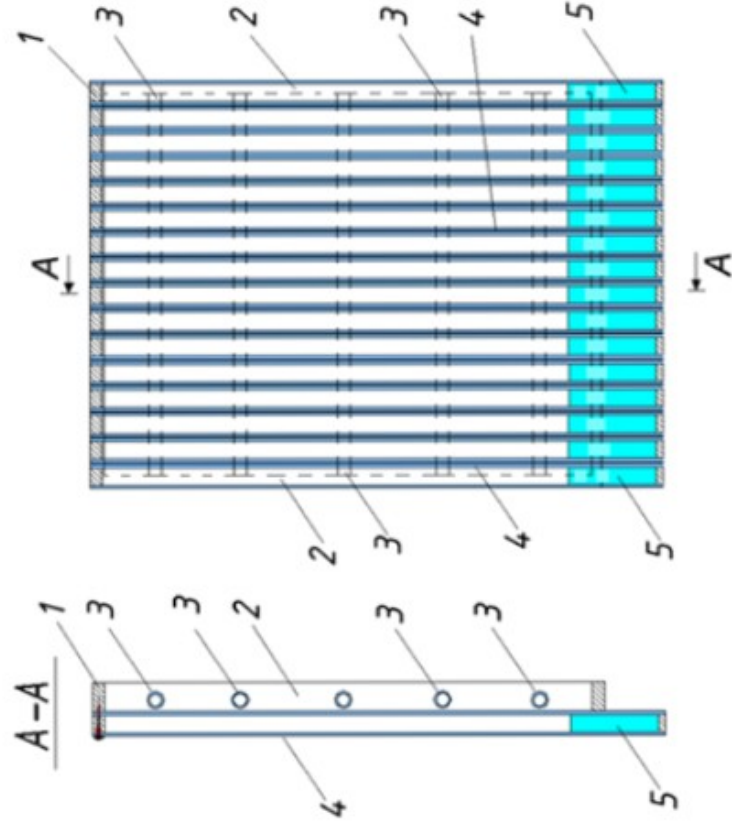
Ефективність пористих вставок



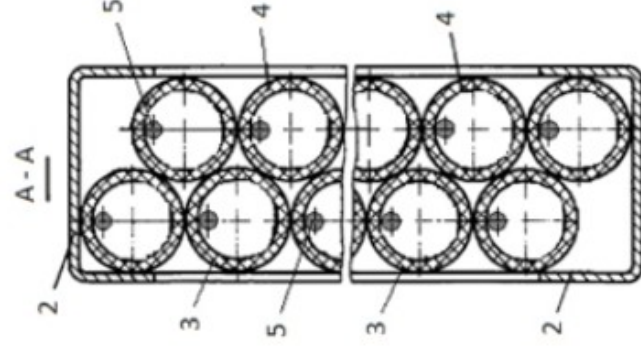
Коефіцієнт поглинання  $\alpha$



3P вставка №1 – з базальтового волокна;  
3P вставка №2 – поролон;  
вставка 3P №3 – вставка з пінопласту



Пристрій для захисту конструкцій від вибухової ударної хвилі



Фіг.1

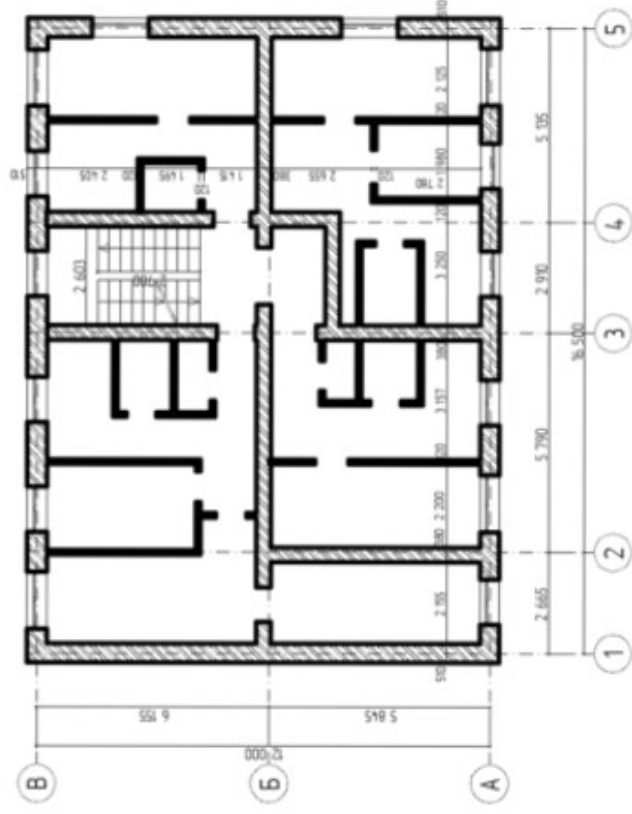
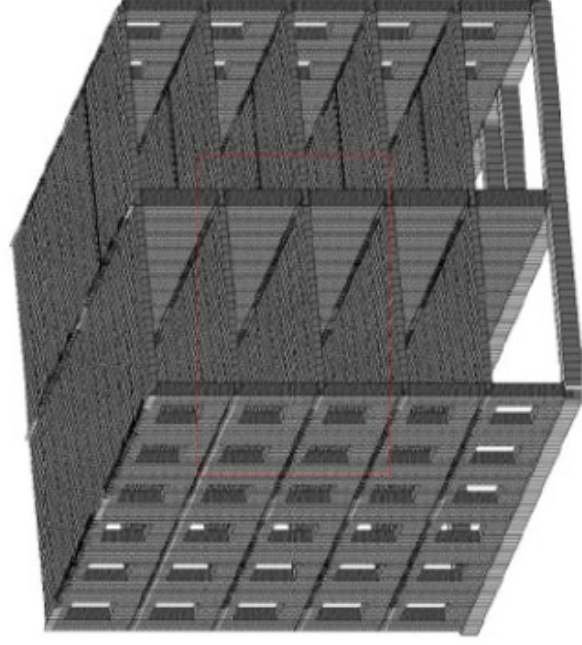
Фіг.2

Пристрій для захисту від ударних повітряних хвиль





# Оцінка вибухостійкості цегляної будівлі



План типового поверху

Розрахункова схема цегляної будівлі

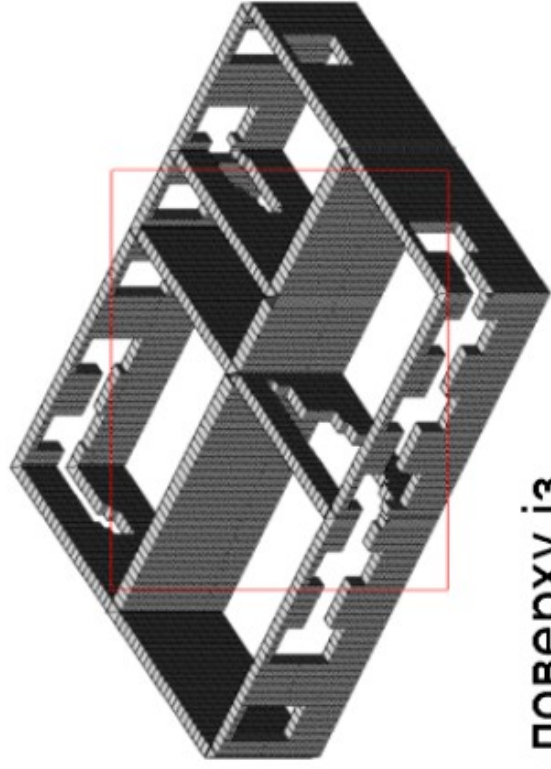


Схема поверху із зруйнованими цегляними стінами



# Оцінка вибухостійкості монолітного будинку

14

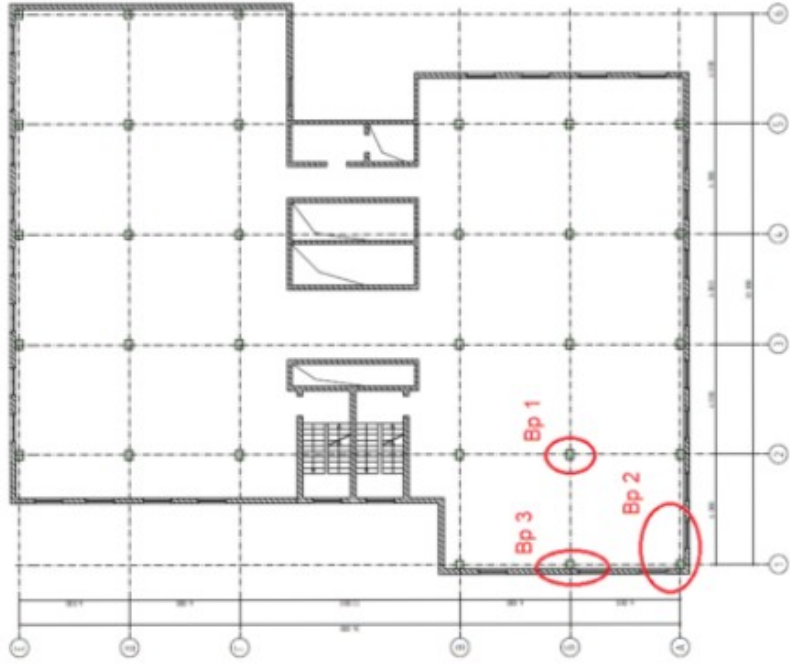
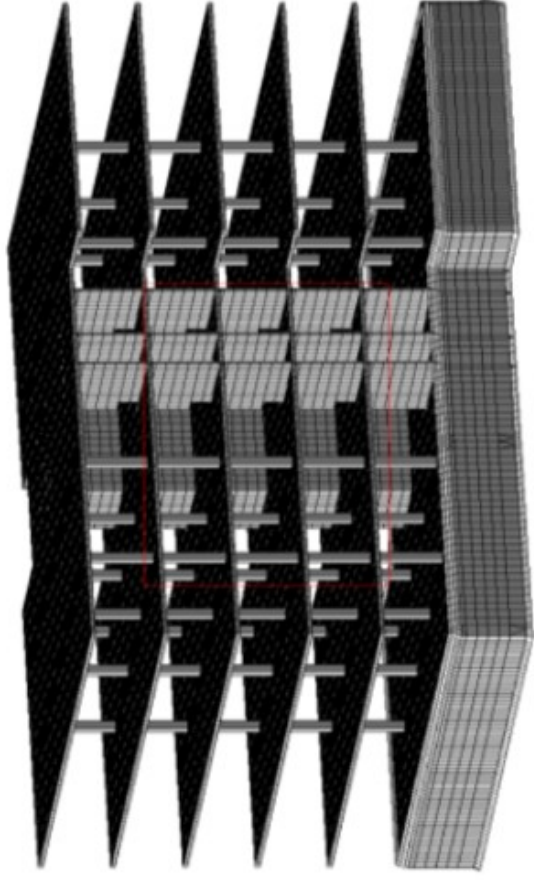


Схема розташування локальних руйнувань типового поверху монолітного будинку



Розрахункова схема монолітного будинку

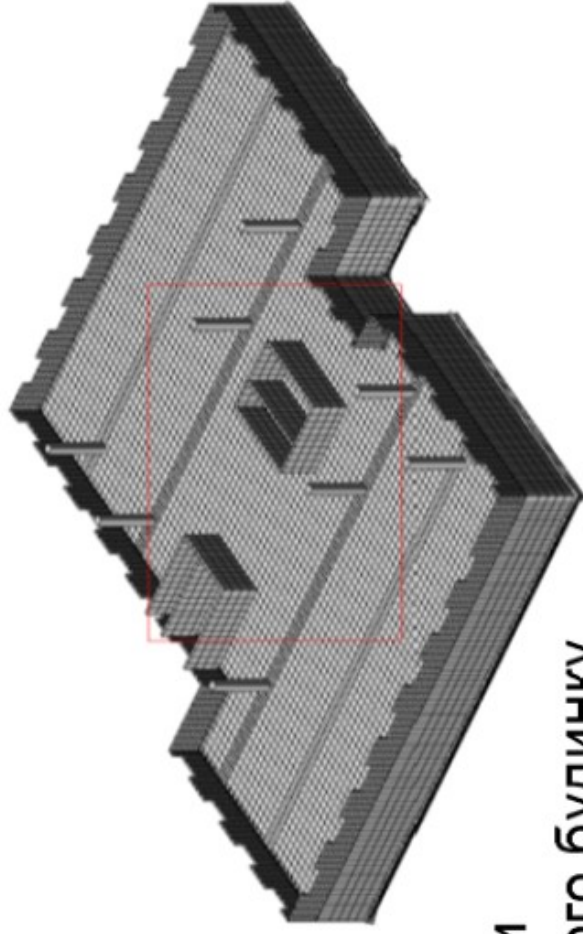


Схема поверху з зруйнованими колонами та стінами монолітного будинку

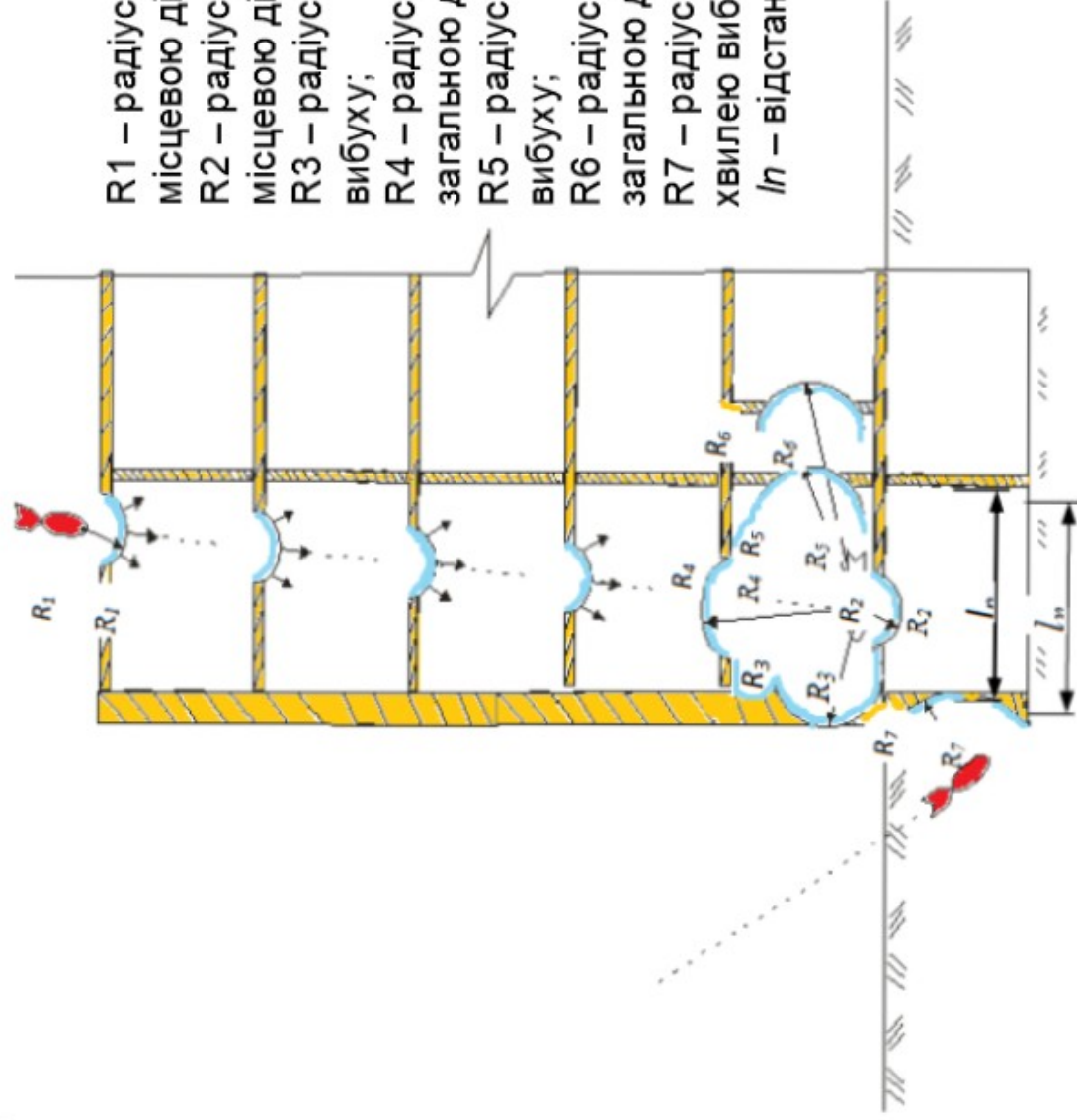
# Зв'язок ступеня руйнування будівлі з можливими економічними збитками

15

Ступінь руйнування	Характер руйнування	Збитки від вартості будівлі	Характер Відновлювальних робіт
Повне	Обвалення несучих конструкцій, пошкодження підвальних приміщень та інженерних комунікацій	90-100%	Відновлення неможливе і недоцільно
Сильне	Збереглася частина несучих конструкцій та підземні інженерні мережі	50-90%	Відновлення вимагає перебудови. можливо часткове використання вцілілих конструкцій
Середнє	Збереглася більша частина несучих конструкцій та підвали. Внутрішня частина зруйнована або вигоріла	30-50%	Значний обсяг відновлювальних робіт. Потрібне залучення спеціальних підрозділів
Слабке	Деформація внутрішніх елементів, покрівлі, прибудов, віконних та дверних коробок	10-30%	Незначний обсяг робіт, доступний ремонтно відновлювальним бригадам
Легке	Пошкодження другорядних елементів: скління, козирків тощо.	0-10%	Відновлення доступне без перерви експлуатації будівлі



## Розрахункова схема локальних руйнувань конструкцій будівлі засобами ураження у звичайному спорядженні



$R_1$  – радіус руйнування міжповерхового перекриття місцевою дією удару;

$R_2$  – радіус руйнування міжповерхових перекриттів місцевою дією вибуху;

$R_3$  – радіус руйнування несучих стін загальною дією вибуху;

$R_4$  – радіус руйнування міжповерхових перекриттів загальною дією вибуху;

$R_5$  – радіус руйнування колон (пілон) загальною дією вибуху;

$R_6$  – радіус руйнування внутрішніх стін (перегородок) загальною дією вибуху;

$R_7$  – радіус руйнування фундаменту сейсмічною хвилею вибуху (при майданному впливі);

$l_n$  – відстань між осями несучих стін

## Загальні висновки

Вивчення впливу ударних хвиль на об'єкти, розташовані поблизу джерела вибуху, має велике практичне значення при вирішенні питань безпеки і захисту людей і споруд від наслідків вибуху. Стратегія боротьби з вибухами і здійснення заходів щодо пом'якшення наслідків вибуху вимагають уваги і рішень з етапу планування і проектування, так як в подальшому в процесі експлуатації об'єкта рішення цього кола завдань стає або більш складним, або неможливим.

### **У даній роботі були вирішені наступні завдання:**

1. Розглянуті підходи в оцінці параметрів ударних хвиль, показані безпечні відстані для будівель за критерієм максимально можливого вибухового навантаження при зовнішньому вибуху.
2. Досліджено параметри меж деформації конструкції при вибуху. Узагальнено принципи вибухозахищеного проектування та основні підходи до підвищення вибухостійкості будівель і споруд.
3. Розроблено алгоритм, що дозволяє візуалізувати відсоток пошкоджень будівель і споруд в результаті впливу вибухових навантажень.
4. Розроблена нова конструкція спеціального захисного пристрою для віконних прорізів, який може мінімізувати вплив ударної хвилі на будівлю.