ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

"ЕНЕРГЕТИЧНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ"

ЄДРПОУ 36216527, 04116 м. Київ, вул. Богдана Гаврилишина, 7, оф.324, +38 (096) 398-08-01; +38 (067) 503-23-33

Київська міська рада
01.08.2024 № **08/30174**

Голові постійної комісії
Київської міської ради з питань житлово-комунального господарства та паливно-енергетичного комплексу
Бродському Олександру Яковичу

Шановний Олександре Яковичу!

Просимо розглянути нашу пропозицію щодо захисту споруд критичної інфраструктури м.Києва від впливу ударних хвиль, викликаних підривом вибухових речовин

На теперішній час найбільш поширеним конструктивним захистом споруд від впливу ударних хвиль, викликаних підривом вибухових речовин є залізобетонні конструкції із середнім шаром з засипкою із піску товщиною до 7 м, в якому гаситься енергія вибуху та масивні конструкції на основі блоків з важкого бетону. Через використання такого захисту суттєво збільшуються навантаження на несучі конструкції будівлі, що призводить до збільшення матеріалоємності відповідних залізобетонних конструктивних елементів, які сприймають навантаження будівлі в цілому – фундаментні конструкції, колони, тощо.

ТОВ «ЕНЕРГЕТИЧНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ» спільно з ДП НДІ Будівельних конструкцій, Інститутом Технічної Теплофізики НАНУ та Інститутом гідромеханіки НАНУ розробило та двічі провело натурні випробування балістичного легкого ніздрюватого бетону (пінобетону BFC), шляхом підриву вибухових речовин та боєприпасів.

За результатами натурних випробувань встановлено, що плити з пінобетону BFC характеризуються відповідними енергопоглинаючими властивостями і можуть застосовуватися в будівельних конструкціях як шар, що сприяє підвищенню захисту об'єктів критичної інфраструктури та військових об’єктів від впливу повітряної ударної хвилі, викликаної підривом вибухових речовин. Вказаний матеріал має покращені фізико-механічні характеристики, що дозволяє знизити рівень динамічного тиску повітряних ударних хвиль на споруду що захищається, в 30 – 50 разів.

Наведені дані говорять про потенційно високу ефективність застосування пінобетону BFC при створенні захисних споруд. Можна

припустити, що товщина захисного шару з пінобетону BFC, за умови збереження вимог щодо захисту конструкцій від зовнішніх ударних впливів, буде в 6 – 8 разів менша, ніж у традиційних конструктивних рішеннях. Таким чином вага захисного шару буде знижена щонайменше у 15 разів, що дозволить менше витрачати на несучі конструкції будівлі. Це також призведе до економії за рахунок зменшення навантажень на елементи захисних конструкцій та спрощення логістики, за рахунок меншого обсягу виконуваних робіт та кількості будівельної техніки, що залучається. Також, застосуванням пінобетону BFC як захисного шару гашення та поглинання енергії вибухової хвилі значно зменшить вражаючий фактор «шрапнелі» від уламків внутрішніх стін споруди.

Універсальний мобільний будівельний комплекс дає можливість підвищити захист інфраструктурних об'єктів від впливу повітряної ударної хвилі як за рахунок попередньо виготовлених захисних композитних панелей з пінобетону BFC, так і монолітною заливкою в незнімну опалубку безпосередньо на об’єкті, що значно спрощує логістику та час виконання робіт в умовах щільної забудови.

Пропонуємо розглянути можливість застосування пінобетону BFC при визначенні конструктивних рішень та проектуванні захисних споруд об’єктів критичної інфраструктури.

Додаток: 1. Протокол натурних експериментальних випробувань захисних властивостей конструкцій з пінобетону під впливом повітряних ударних хвиль. (копія на 18 арк.)

Директор Дмитро Євдощук

ЗАТВЕРДЖУЮ
Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Директор ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
д.т.н., проф.

_____ **Геннадій ФАРЕНЮК**

_____05_____ 2024 р.

М.П.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України

Начальник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
д.т.н., проф.

_____ **Ігор ЧЕПКОВ**

_____05_____ 2024 р.

М.П.

ПРОТОКОЛ
натурних експериментальних випробувань захисних властивостей конструкцій з пінобетону під впливом повітряних ударних хвиль

Виконавці: - Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»;
- Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України;
- Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України;
- Інституту гідромеханіки Національної академії наук України;
- ТОВ «Енергетичні інноваційні технології»;
- ТОВ «Рив'єра АРТ»

Замовники: - Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»;
- Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України;
- Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

Київ — 2024

1. Підстава для проведення випробувань: Програма робіт з розробки конструкцій захисту об'єктів критичної інфраструктури та військових об'єктів від уражаючих факторів бойових зарядів, Лист Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України від 15.04.2024 р., № 7т/25-5.

2. Мета випробувань:

- підтвердити наявність захисного ефекту від влаштування шару пінобетону BFC (Ballistic Foam Concrete) на конструкції будівель при зовнішніх вибухах;
- визначити динамічний тиск на дослідні зразки пінобетонних плит та залізобетонних плит, які захищені пінобетонними плитами, під час впливу ударних хвиль від підриву вибухових речовин масою 1 кг тротилу, які розташовувалися на висоті 1 м від ґрунту та на відстані 1,5 м від моделі пінобетонних споруд;
- встановити закономірності зниження величини ударної хвилі від складу шару пінобетону BFC;
- визначити фактичні динамічні параметри (тиск, частоти, прискорення) коливань конструкцій дослідних зразків залізобетонних плит, захищених пінобетоном BFC, при впливі повітряної ударної хвилі, викликаної підривом вибухових речовин.

3 Нормативні посилання: перелік нормативних документів, на які є посилання у цьому протоколі, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 Перелік нормативних документів

Позначення нормативного документа	Назва нормативного документа
ДСТУ Б.В.2.7-45:2010	Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови
ДБН В.2.2-5:2023	Захисні споруди цивільного захисту
ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 ССБТ	Вибрационная безопасность. Общие требования
ISO 4866:2010	Вібрація та удари механічні. Вібрація будівель. Настанови щодо вимірювання вібрацій

4. Випробування проводились: 18 квітня 2024 р., згідно з нормативними документами вказаними в табл.1 за адресою: Київська область, Бориспільський район, стрілецький полігон за координатами 50°19'58.8"N 30°39'55.0"E.

5. Зразки надані (або виготовлені і надані): ТОВ "Енергетичні інноваційні технології", ТОВ «Рив'єра АРТ». Зразки отримано 17.04.2024 р.

6 Характеристики експериментальної споруди та дослідних зразків:

Експериментальна споруда включає наступні складові:

1. Дослідний стенд.
2. Дослідні зразки.
3. Щогла для встановлення вибухових зарядів на певній висоті над поверхнею землі.

На рис. 1 представлена схема розміщення експериментальної споруди та дослідних зразків, точок підриву та вимірювального обладнання.

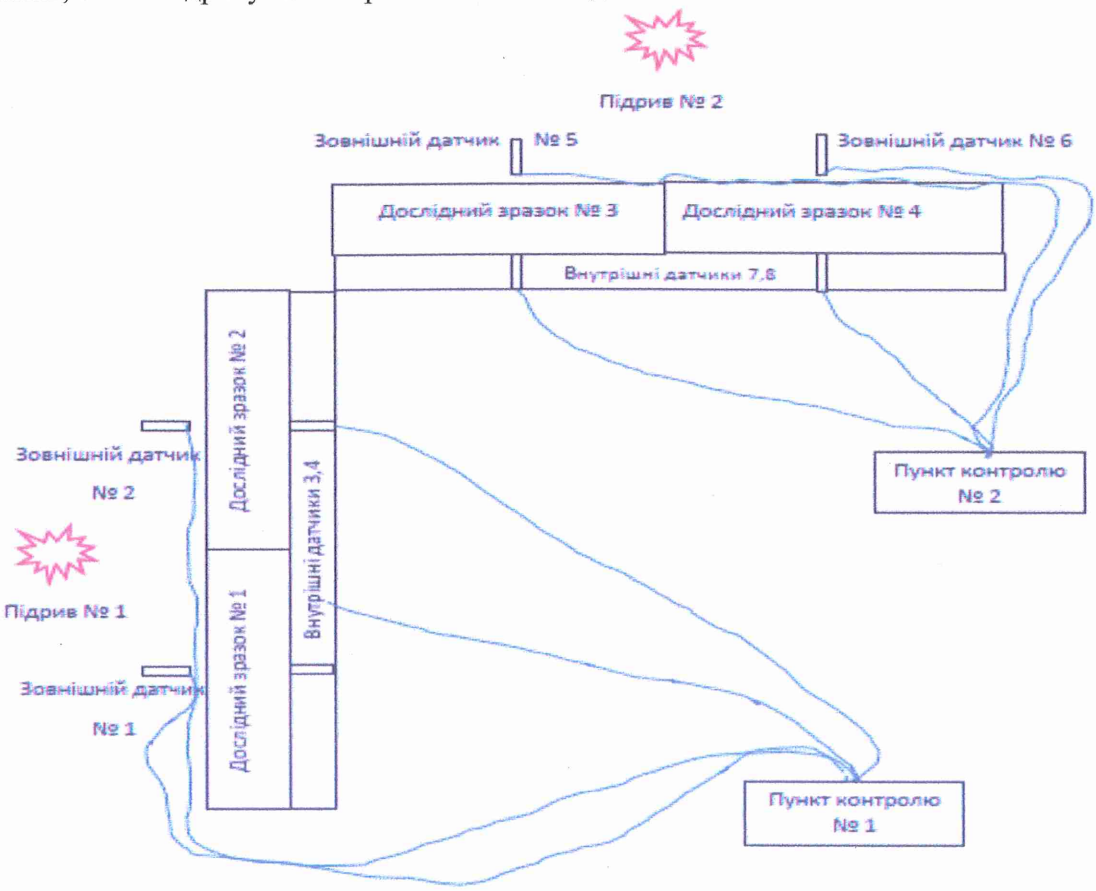
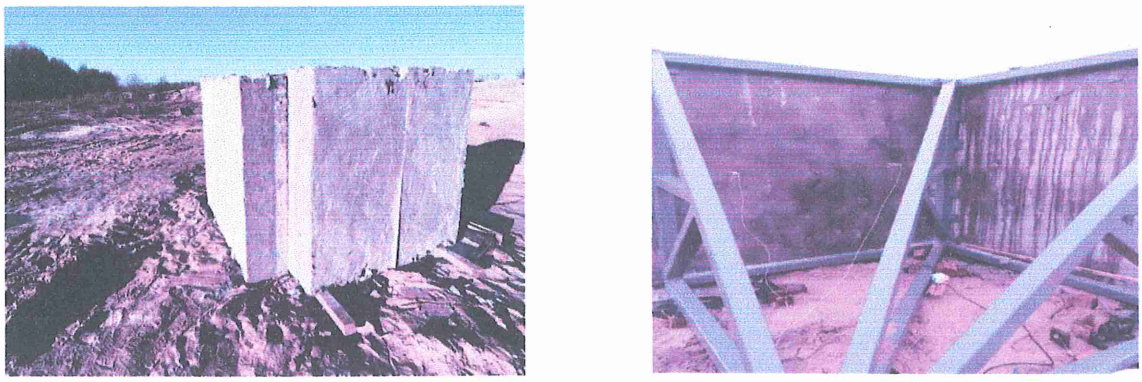


Рис. 1. Схема розміщення

6.1. Дослідний стенд

Стенд для встановлення дослідних зразків є збірною залізобетонною спорудою, що влаштовується з двох залізобетонних плит розмірами в плані 2000 х 2000 мм, товщиною 150 мм, виготовлених з бетону класу С16/20, встановлених вертикально під кутом 90° один до одного, на чотирьох фундаментних блоках розміром 1000 х 1000 х 1200 мм, посилених опорною металевою рамою (рис. 2).



а б

Рис. 2. Модель пінобетонної захисної споруди: вид спереду (а) та вид ззаду (б).

Кожна плита з внутрішньої сторони кута, який вони утворюють, має дві ніші, які розташовані на відстані 1000 мм від нижнього краю плит та на відстані 500 мм від бокових країв плит, маючи між собою відстань 1000 мм. Ніші призначені для встановлення датчиків, та закладання пластикових трубок для пропуску кабелів, що ведуть до них.

6.2. Дослідні зразки

Для виробництва дослідних зразків використовувався універсальний мобільний будівельний комплекс FC 50.

Зразки складалися з наступних елементів:

- плита з монолітного пінобетону BFC, витриманого протягом 23 діб;
- плита з монолітного пінобетону BFC, витриманого протягом 23 діб з нанесеним посилюючим шаром композитного матеріалу.

Кількість зразків і параметри плит з монолітного пінобетону визначалися задачами, що ставилися в експериментальних випробуваннях. Були встановлені наступні параметри:

Зразок № 1: плита з пінобетону BFC густиною 600 кг/м^3, розмірами в плані 2000 х 1000 мм, товщиною 300 мм;

Зразок № 2: плита з пінобетону BFC густиною 600 кг/м^3, розмірами в плані 2000 х 1000 мм, товщиною 300 мм, з нанесеним посилюючим шаром композитного матеріалу;

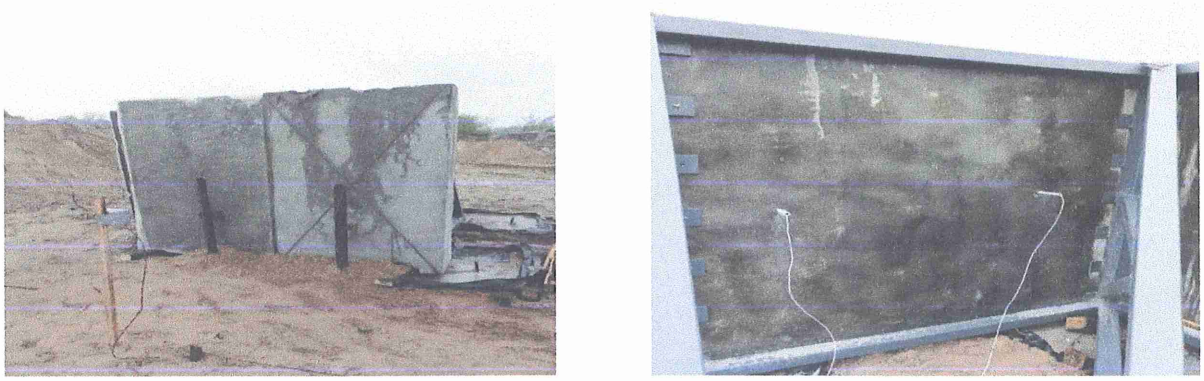
Зразок № 3: плита з пінобетону BFC густиною 600 кг/м^3, розмірами в плані 2000 х 1000 мм, товщиною 300 мм, армована фіброю складу «А», з нанесеним посилюючим шаром композитного матеріалу;

Зразок № 4: плита з пінобетону BFC густиною 600 кг/м^3, розмірами в плані 2000 х 1000 мм, товщиною 300 мм, армована фіброю складу «В», з нанесеним посилюючим шаром композитного матеріалу.

*Додатково випробувалася модель захисної решітки з композитного матеріалу, для захисту технологічних вентиляційних отворів споруд об'єктів критичної інфраструктури.

6.3. Щогла

Щогла повинна була мати конструкцію і висоту, що дозволяли влаштовувати вибухи заряду тротилу 1 кг на висоті 1 м над поверхнею землі та на відстані 1,5 м від поверхні зразка, монолітно закріпленого на дослідному стенді (рис. 3).



а б

Рис. 3. Модель пінобетонної захисної споруди перед вибухом: вид спереду (а) та розташування датчиків на тильній стороні бетонної плити (б).

7. Результати огляду та обмірів: дослідні зразки мали якісний зовнішній вигляд, без механічних пошкоджень та були допущені до випробувань.

8. Тип вимірювального обладнання для вимірювань динамічного тиску

Для проведення випробувань застосовувалося наступне вимірювальне обладнання:

- датчики тиску типу PS2300V5 фірми "Dytran Instruments, Inc." (США), що фіксують максимальний тиск від ударної хвилі на поверхні плити з пінобетону BFC та на поверхні плити залізобетону (дослідного стенду) в момент вибуху – 4 шт;
- датчики прискорень моделі 731A фірми "Wilcoxon research" (США)., що фіксують ударні прискорення, що передається від поверхні пінобетонної плити з пінобетону BFC на поверхні плити залізобетону (дослідного стенду) в момент вибуху – 2 шт;
- обладнання для передавання сигналів від датчиків на комп'ютер та їх запису;
- масштабна лінійка для вимірювання товщини «жертовного» шару пінобетонних плит.

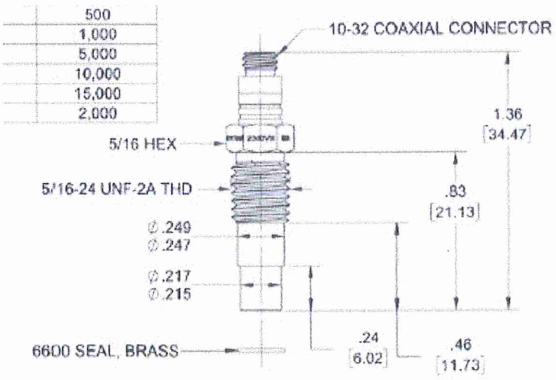
9. Параметри, що вимірювалися

Вимірювалися: динамічний тиск (МПа, ат) ударних хвиль та динамічні параметри (частоти (Гц), прискорення (м/с^2)) коливань конструкцій залізобетонних плит, захищених дослідними зразками пінобетонних плит, при впливі повітряної ударної хвилі, викликаної підривом вибухової речовини; товщина «жертовного» шару пінобетонних плит (мм), що утворюється на їх поверхні, при гасінні ударних хвиль.

10. Результати вимірювань динамічного тиску ударних хвиль

Вимірювання тиску ударних хвиль від дії вибухових речовин масою 1 кг тротилу, які розташовувалися на висоті 1 м від ґрунту та на відстані 1.5 м від передньої поверхні пінобетонної споруди здійснювалося датчиками тиску типу PS2300V5 фірми "Dytran Instruments, Inc." (США), які показано на рис. 4.

а



б

Рис. 4. Датчик динамічного тиску типу PS2300V5: фотографія (а) та схема (б).

Датчики розташовувалися поблизу фронтальної поверхні дослідних зразків, як показано на рис. 3а, а також фронтальної поверхні залізобетонної плити або на тильній стороні пінобетонних плит, як показано на рис. 3б. Під час випробувань було здійснено окремо підрив вибухової речовини перед однією парою пінобетону (зразки № 1 та № 2), а потім перед іншою парою (зразки № 3 та № 4).

10.1. Результати вимірювань динамічного тиску перед зразками № 1 та № 2

Візуальні спостереження

Візуальні спостереження здійснювалися швидкісною відеокамерою і окремі кадри наведені на рис.5.

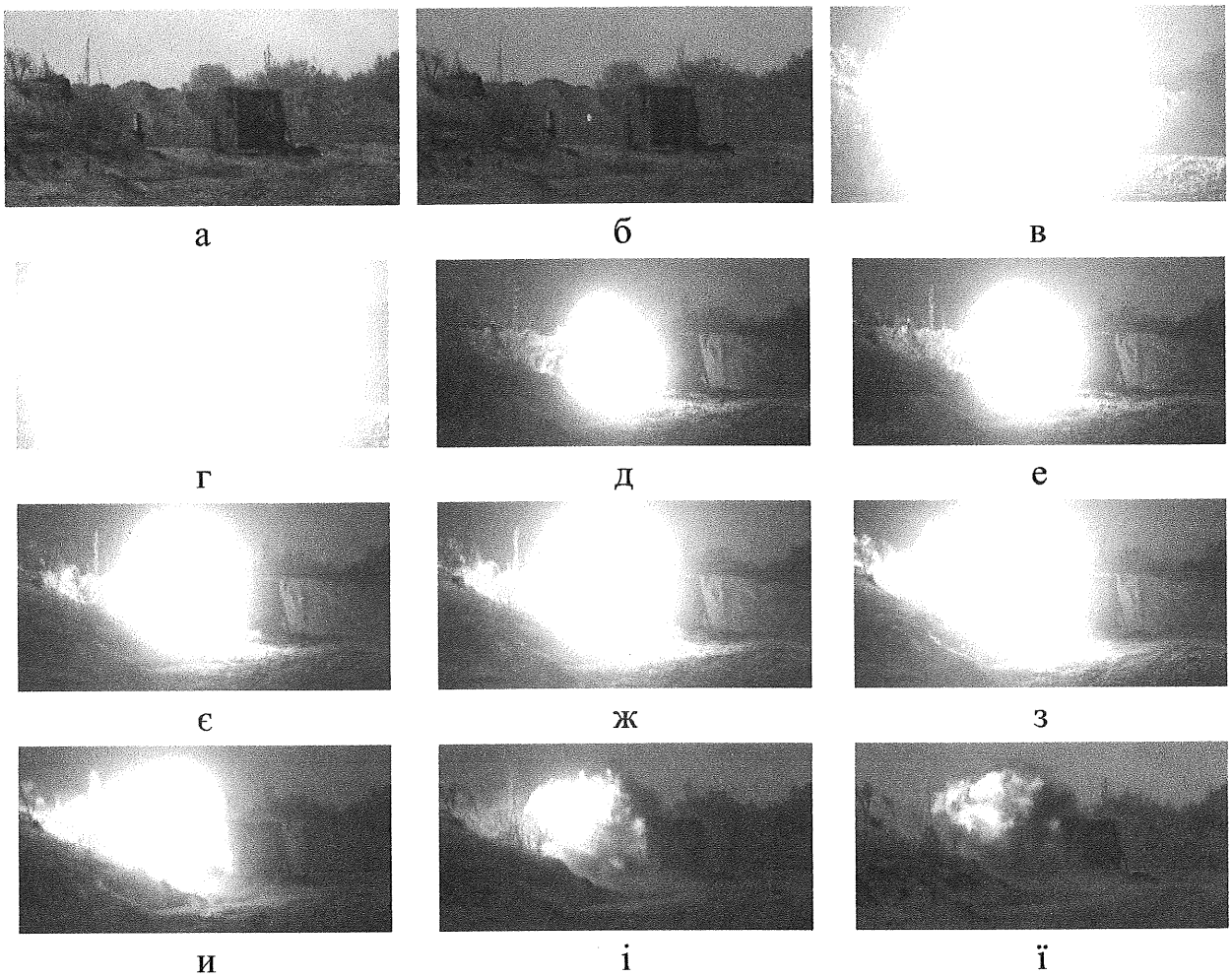


Рис. 5. Фрагмент покадрової візуалізації підриву вибухової речовини

В результаті проведення відео зйомки отримано близько 2 тисяч відеокадрів, які дозволили детально визначити особливості формування вибуху від процесу його утворення до виродження, що частково показано на рис. 5.

Динамічний тиск

Динамічний тиск від ударної хвилі на поверхнях дослідних зразків пінобетону з його фронтальної та тильної сторони показано на рис. 6, а його спектральні складові наведено на рис. 7.

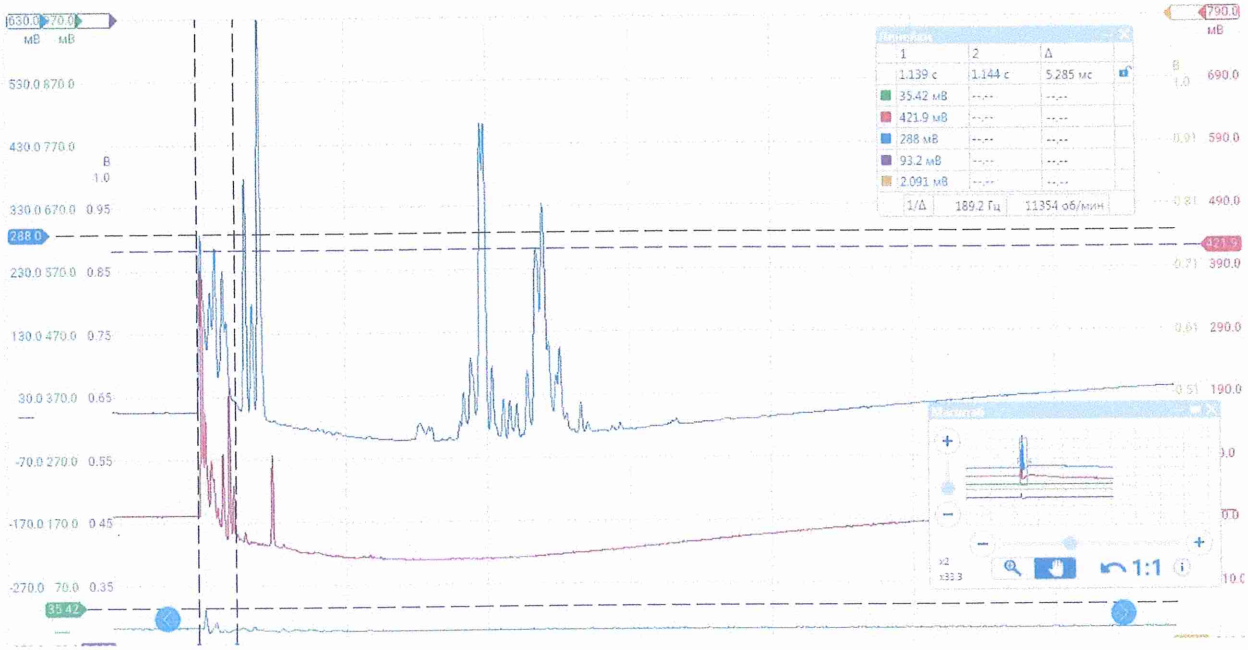


Рис. 6. Форми імпульсних ударних пульсацій тиску на досліджуваних поверхнях дослідних зразків № 1 і № 2

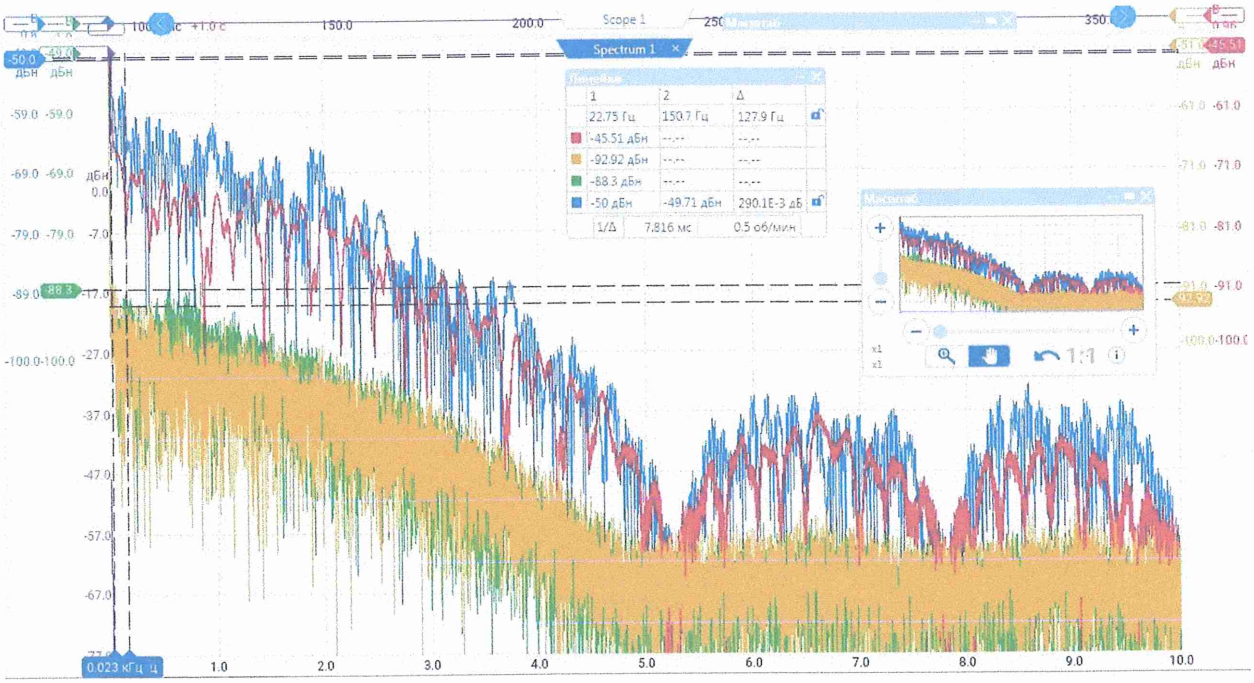


Рис. 7. Спектри імпульсних ударних пульсацій тиску на досліджуваних поверхнях дослідних зразків № 1 і № 2

10.2. Результати вимірювань динамічного тиску перед зразками № 3 та № 4

Динамічний тиск

Динамічний тиск від ударної хвилі на поверхнях дослідних зразків пінобетону з його фронтальної та тильної сторони показано на рис. 8, а його спектральні складові наведено на рис. 9.

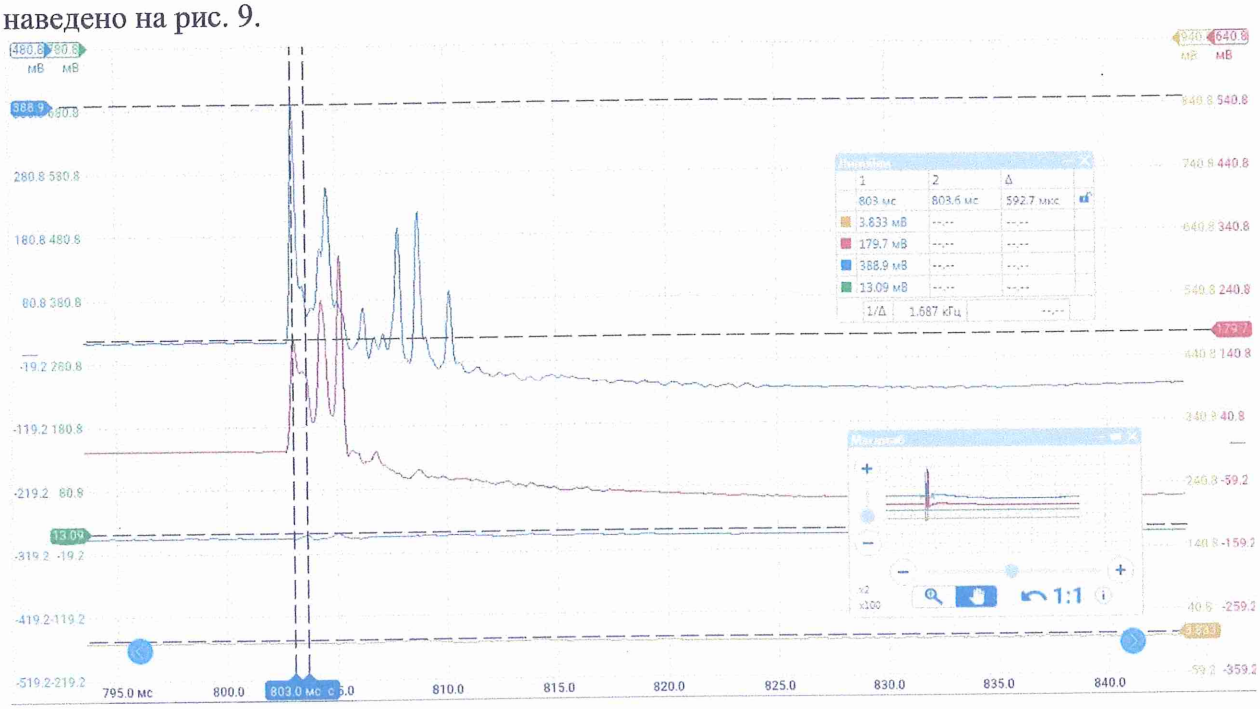


Рис. 8. Форми імпульсних ударних пульсацій тиску на досліджуваних поверхнях дослідних зразків № 3 і № 4

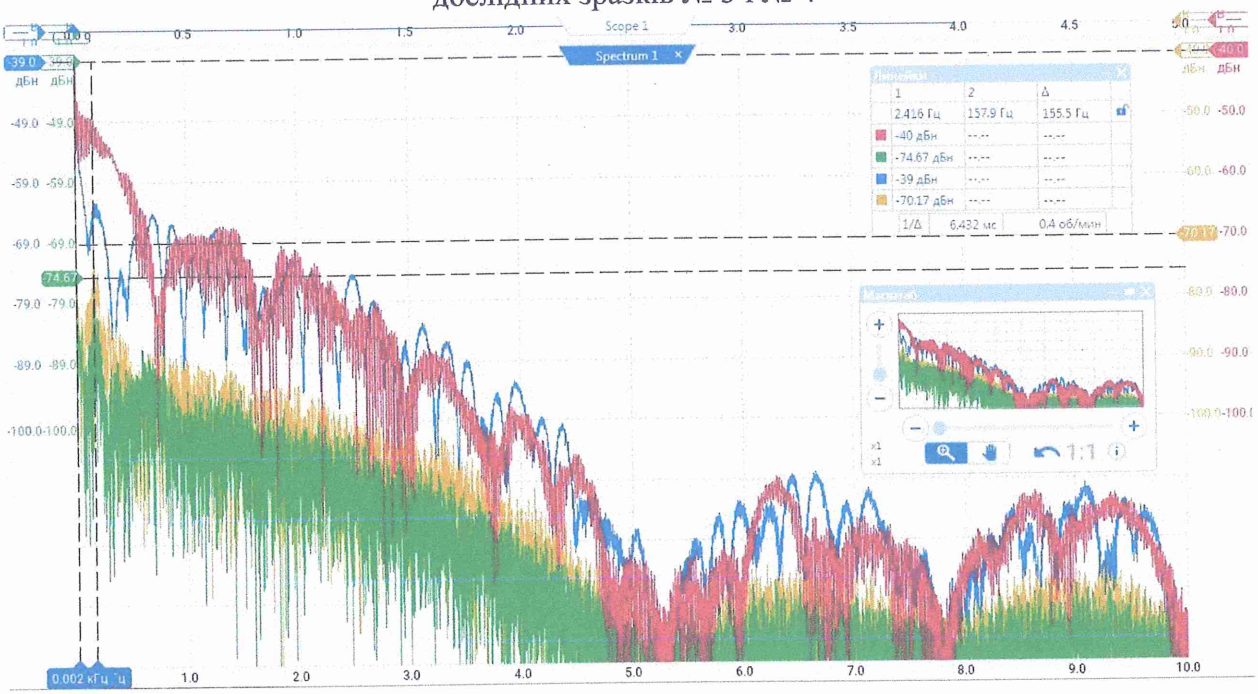


Рис. 9. Спектри імпульсних ударних пульсацій тиску на досліджуваних поверхнях дослідних зразків № 3 і № 4

10.3. Розрахунок динамічного тиску

Параметри вимірювань та розрахунків динамічного тиску під час впливу ударних хвиль наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 Параметри вимірювань та розрахунків динамічного тиску під час впливу ударних хвиль

Об'єкт / конструкція	Вимірювальні прилади	Показання датчика, мВ	Тривалість імпульсних ударних пульсацій тиску, мс	Динамічний тиск**, ат	Зменшення динамічного тиску, (рази)
Підрив №1					
Дослідний зразок № 1	Зовнішній датчик № 1	288	5,285	19,2	8,1
	Внутрішній датчик № 3	35,42	5,285	2,37	
Дослідний зразок № 2	Зовнішній датчик № 2	421,9	5,285	28,12	12
	Внутрішній датчик № 4	2,091*	5,285	-	
Підрив №2					
Дослідний зразок № 3	Зовнішній датчик № 5	388,9	0,5927	25,92	37,6
	Внутрішній датчик № 7	10,49	0,5927	0,69	
Дослідний зразок № 4	Зовнішній датчик № 6	309,8	0,5927	20,65	53,6
	Внутрішній датчик № 8	5,785	0,5927	0,385	

Примітки:
* - датчик спрацював некоректно, розрахунок здійснювався у перерахунку усереднених значень;
** - динамічний тиск вираховувався виходячи з калібрування датчиків, 15 мВ відповідають 1ат.

Таким чином, розрахунок динамічного тиску на дослідні зразки пінобетонних плит та залізобетонні плити, які захищені пінобетонними плитами, з результатів експериментальних випробувань під час впливу ударних хвиль від підриву вибухових речовин масою 1 кг тротилу, які розташовувалися на висоті 1 м від ґрунту та на відстані 1,5 м від моделі пінобетонних споруд показали, що:

Тиск ударних хвиль на фронтальну поверхню пінобетонних плит складав близько (2,0 – 2,8) МПа, або (20 – 28) ат.

Тиск ударних хвиль на фронтальну поверхню залізобетонних плит, які захищені пінобетонними плитами, складав близько (0,04 – 0,237) МПа, або (0,4 – 2,37) ат.

Дослідний зразок № 1 зменшив тиск ударної хвилі у майже **8 разів.**
Дослідний зразок № 2 зменшив тиск ударної хвилі у майже **12 разів.**
Дослідний зразок № 3 зменшив тиск ударної хвилі у майже **37 разів.**
Дослідний зразок № 4 зменшив тиск ударної хвилі у майже **53 разів.**

* Модель захисної решітки з композитного матеріалу, для захисту технологічних вентиляційних отворів споруд об'єктів критичної інфраструктури пошкоджень не зазнала. На тильній стороні моделі захисної решітки зафіксовано зниження динамічного тиску ударної хвилі в 4 рази.

10.4. Розрахункова оцінка величини імпульсного тиску від ударної хвилі під час вибуху вибухової речовини.

Приймається, що процес розширення газів, що утворюються під час вибуху тротилу, у зв'язку з його високою швидкоплинністю, ~1/(4-5) · 10^{-5}с є адіабатичним.

Основні вибухово-енергетичні характеристики тротилу, який використовувався в експерименті, (використовується в бойовій частині БПЛА, наприклад, в "Шахедах - 238"), наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 Основні вибухово-енергетичні характеристики тротилу

Характеристика	Тротил
Теплота вибуху, Дж/кг	4230
Температура вибуху, °С	3500
Питомий об'єм продуктів вибуху, м³/кг	0,73
Швидкість детонації, м/с	7000

При вибуху 1 кг тротилу утворюється 730 л газу наведених до умовно нормального тиску $P_н$ ~0,1Мпа та температурі Т~0°С. Об'єм займаний 1 кг тротилу, при його щільності ρ = 1500 кг/м³ складе 0,66 л. При стисканні газу від 0,73 м³, (700 л) до 0,66 л його тиск у цьому обсязі зросте, (за законом Бойля – Маріотта до величини від 0,1 МПа до 730/0,66 · 0,1 = ~ 110,6 МПа, а за рахунок того, що температура газів, що утворюються при вибуху, зростає до 3500°С, (а за законом Гей – Люссака підвищення температури на 1°С збільшує обсяг на 1/273 від початкового), тому тиск у цьому обсязі (0,66л), збільшиться в 12,8 рази, (3500/273 = ~12,8) і складе: $P_в$ = ~ 1415,7 МПа (14 157 ат). Таким чином, тиск в об'ємі вибуху (0,66 л, куля радіусом 0,062 м) за оцінними розрахунками складе $P_в$ ~ 14157ат. У нічим не обмеженому просторі тиск ударної хвилі зменшиться зворотно пропорційно квадрату відстані від точки вибуху. Отже, якщо відстань збільшилася до 1,5 м, тобто в 24,2 рази (1,5/0,062 = ~ 24,2), то тиск зменшиться в 585,2 рази, ($24{,}2^2$ ~ 585,2) і становитиме величину на поверхні пінобетону $P_п$ ~24,2 ат, (14 157/585,2 = ~24,2) або 2,42 МПа. Порівняння результатів розрахунку, (за адіабатною моделлю), з представленими, (вище), експериментальними даними, показало, що ці величини досить близькі одна до одної. Випробування були проведені в частково обмеженому просторі (обвалування з піску), але середній тиск, за чотирма датчиками, досить добре співвідноситься з розрахунковим.

Як приклад, (за пропонованим методом), було розраховано тиск на поверхні пінобетону, при підриві 40 кг тротилу, (БЧ БПЛА "Шахед-238), на відстані 4-х метрів від поверхні, що захищається. Розрахована величина імпульсного тиску на поверхні пінобетону, при цьому склала 30,4 ат. Розрахунки, проведені за наведеною вище методикою, показали, що заряд тротилу, вагою 5кг, розміщений на відстані 2 м, створює такий самий імпульсний тиск від ударної хвилі, (30,4 ат, ~3 МПа), що і заряд вагою 40 кг, розташований на відстані 4 м від поверхні пінобетону. Тому для додаткової експериментальної перевірки захисних властивостей пропонованого пінобетону, а також

методу розрахунку тиску на поверхню пінобетону рекомендується використовувати, наприклад, заряд, вагою тільки 5кг тротилу, але розташувати такий заряд необхідно розрахунковій відстані 2 м.

10.5. Розрахунок тиску вибухової хвилі на відстані 4 м, при підриві 40 кг тротилу

Об'єм, що займає 40 кг тротилу:

$V_1 = m/\rho$,

де V_1 – об'єм тротилу, м^3;

m – маса тротилу, кг;

ρ – щільність тротилу, кг/ м^3.

$V_1 = 40/1500 = 0{,}0266$ *м^3 (26 л).*

Об'єм газів, що утворюються при підриві:

$V_2 = W1 \cdot m$,

де $W1$ – питомий обсяг продуктів вибуху, який при нормальних умова, Р – 1 ат, Т - 0ºС, дорівнює 0,73 м^3/кг.

$V_2 = 0{,}73 \cdot 40 = 29{,}2$ *м^3.*

Таким чином, газ, що утворюється стискається у

29,2 м^3 /0,0266 м^3 = 1097,7 разів, та відповідно підвищенням тиску до *1097,7* ат.

Від підвищення температури відбувається підвищення тиску у

*3500/*273 = *12,8* разів,

де *3500* – температура вибуху, С,

1097,7- температура нормальних умов для газу, К.

Відповідно, тиск в об'ємі 0,0266 м^3 (26 л) 40 кг тротилу зросте до

1097,7 · *12,8 = 14050,6* ат.

Сфера, об'ємом 0,0266 м^3 (26 л) має радіус 0,186 м. Радіус сфери, який дорівнює 4 м більше радіусу сфери, який дорівнює 0,186 м у 21,5 разів.

Виходячи з того, що:

$P_к = P_п/(r_2/ r_1)^2$,

де $P_к$ – тиск вибухової хвилі на відстані r_2, ат,

$P_п$ – тиск вибухової хвилі на відстані r_1, ат,

r_1 – радіус сфери, що вміщує заряд тротилу, м,

r_2 – відстань від центру сфери, що вміщує заряд тротилу, до точки виміру тиску, м.

Тиск вибухової хвилі на відстані 4 м, при підриві 40 кг тротилу,
14050,6/(4/0,186)^2 = 30,4 ат.

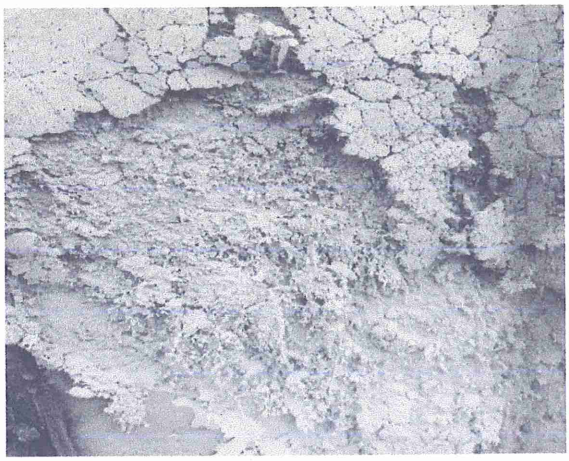
11. Результати вимірювань «жертовного» шару.

Ударні хвилі від вибухів перетворили відносно незначний верхній шар пінобетонних плит, що є "жертовним" шаром, на спресований порошок, через руйнування міжпорових перегородок. У площині поверхні пінобетонних плит, «жертовний» шар описувався уявним колом, що є проекцією вибуху, з діаметром близько 1 м. Товщина «жертовного» шару зменшувалась від центру кола до периферії, та в центрі кола складала:

- 12 – 16 мм в дослідному зразку № 1;
- 12 – 16 мм в дослідному зразку № 2;

- 18 – 22 мм в дослідному зразку № 3;
- 36 – 38 мм в дослідному зразку № 4.

На рис.10 представлені фотографії випробуваних дослідних зразків з мінімальною та максимальною товщиною «жертовного» шару.



а

б

Рис. 10. «Жертовний» шар пінобетонних плит після вибухів: дослідний зразок № 1, з мінімальною товщиною шару (а), дослідний зразок № 4, з максимальною товщиною шару (б).

12. Результати вібродинамічних досліджень

12.1. Завдання, методи і апаратура вібродинамічних досліджень

Завданнями вібродинамічних досліджень ставилося:

- вимірювання горизонтальних коливань дослідних зразків при впливі повітряної ударної хвилі;
- одночасне вимірювання вертикальних та горизонтальних коливань грунту на різній відстані від місця підриву;
- визначення динамічного навантаження на конструкції дослідних зразків при впливі вибухової ударної хвилі.

При виконанні динамічних досліджень застосовувався комплект віброметричної апаратури, яка дозволяє записувати вібраційні сигнали в реальному часі (рис. 11). При проведенні записів коливань об'єкту дослідження використовувався частотний діапазон 0,3 Гц до 100 Гц.

Рис. 11. Загальний вигляд апаратури, яка використовувалась при проведенні досліджень

Реєстрація вібросигналів виконувалася з використанням автономної бездротової багатоканальної системи моніторингу будівельних конструкцій до складу якої входили:

- модулі вимірювання низькочастотної вібрації (МВНВ-01) з однокомпонентними акселерометрами моделі 731А фірми "Wilcoxon research" (США). Вимірювальним параметром при вібродинамічних дослідженнях є віброприскорення.
- ноутбук з програмним забезпеченням для реєстрації й обробки вібросигналів, з'єднуючі кабелі.

Динамічні дослідження проводились в денний час. Джерелами динамічного впливу були:

- фонові впливи (вітер, рух автотранспорту);
- ударні імпульси на залізобетонні плити малої інтенсивності;
- вимушений вплив повітряної ударної хвилі, що створюється при підриві вибухової речовини до захисного шару пінобетону.

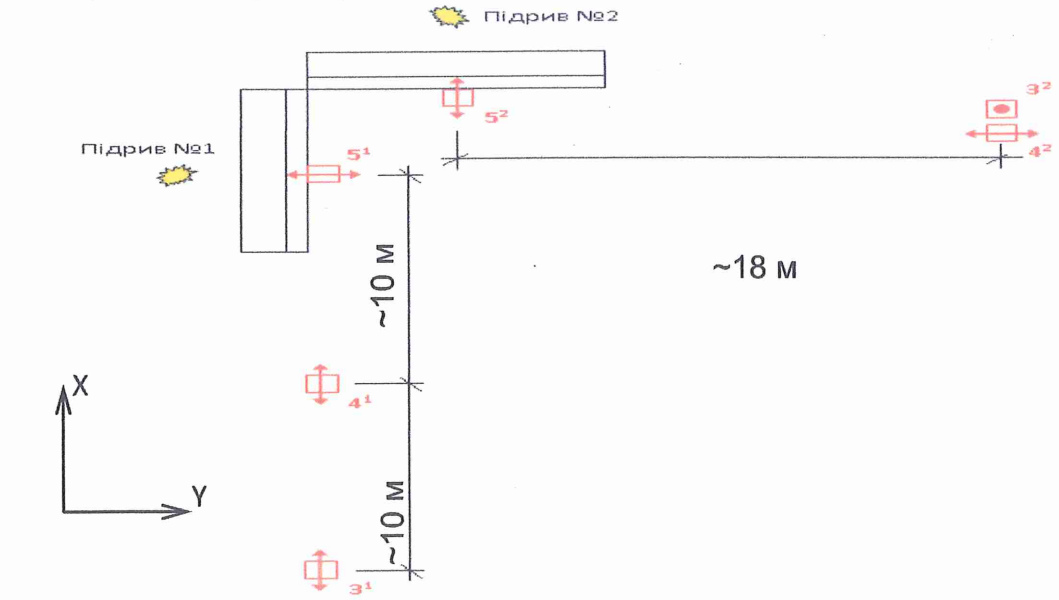
Результатом вібродинамічних досліджень є:

- динамічні характеристики (частоти/періоди коливань) конструкцій дослідних зразків та грунту при фонових впливах та при вимушених впливах;
- амплітуди віброприскорень конструкцій дослідних зразків та грунту при впливі повітряної ударної хвилі.

12.2. Схеми розміщення вібродатчиків

Для визначення параметрів коливань конструкцій дослідних зразків та грунту при впливі повітряної ударної хвилі вібродатчики розміщувалися в горизонтальній та вертикальній площинах.

В рамках розробленої методики реалізовані наступні схеми розміщення вібродатчиків (рис.12).



- датчики для вимірювання горизонтальних та вертикальних прискорень;

Рис. 12. Розміщення датчиків

12.3. Результати вібродинамічних випробувань

Результатом проведених вібродинамічних випробувань є записи часових сигналів горизонтальних та вертикальних віброприскорень та їх амплітудні спектри. Обробка вібросигналів, отриманих при вібродинамічних дослідженнях, проведена з використанням програми «Сейсмомоніторинг».

В таблиці 4 наведені зареєстровані значення амплітуд віброприскорень конструкцій дослідних зразків та прилеглого грунту, а також значення переважаючих частот в амплітудних спектрах коливань. Часові сигнали горизонтальних та вертикальних віброприскорень, а також амплітудні спектри віброприскорень конструкцій дослідного зразку №1 залізобетонної плити та прилеглого грунту, отримані в різних точках вимірювання, наведені на рис. 13 – 17.

Таблиця 4 Параметри вимушених коливань конструкцій дослідних зразків та прилеглого грунту

Об'єкт / конструкція	Переважаючі частоти *f*, Гц, при коливаннях за напрямком			Зареєстровані значення віброприскорень, м/с^2 при коливаннях за напрямком			Примітки
	вздовж осі Z	вздовж осі X	вздовж осі Y	вздовж осі Z	вздовж осі X	вздовж осі Y	
Фоновий вплив							
Дослідний зразок	-		-	-		-	
Грунт		45-55	-	-	0,04	-	
Імпульсний вплив малої інтенсивності							
Дослідний зразок	-	16,1; 18,8; 26.6; 54,5	-	-	4,0	-	
Підрив №1							
Дослідний зразок	-	0,5	-	-	89,5	-	
Грунт на відстані 10 м	-	0,37	-	-	5,0	-	
Грунт на відстані 20 м	-	40-65	-	-	1,72	-	
Підрив №2							
Дослідний зразок[1]	-	-	-	-	-	-	
Грунт на відстані 18 м	0,37	0,37	-	5,4	5,5	-	
Примітки: 1. Записи коливань дослідного зразка відсутні через вихід з ладу обладнання датчику 5[2] внаслідок вибухового впливу.							

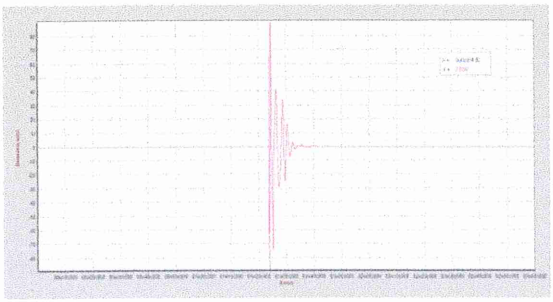


Рис. 13. Графік віброприскорень дослідного зразка №1(2) при впливі вибухової ударної хвилі

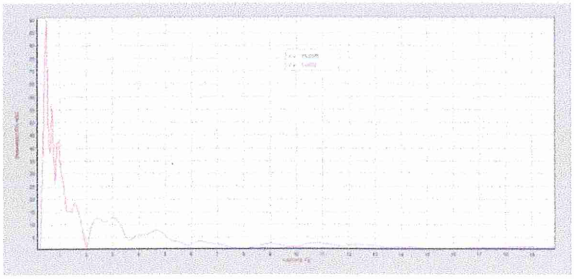


Рис. 14. Графік амплітудного спектру коливань дослідного зразка №1(2) при впливі вибухової ударної хвилі

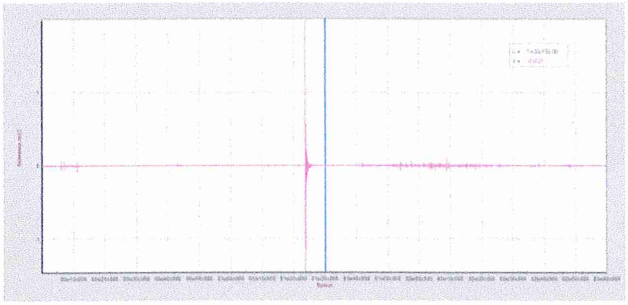


Рис. 15. Графік віброприскорень грунту на відстані 20 м при впливі вибухової ударної хвилі на зразок №1(2)

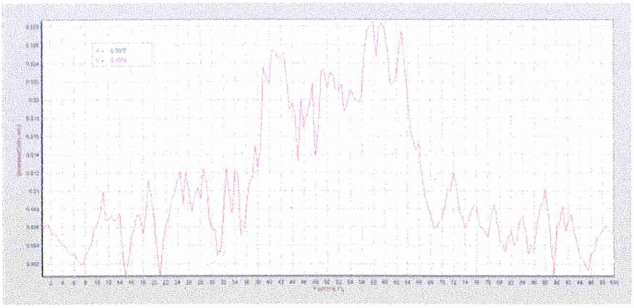


Рис. 16. Графік амплітудного спектру коливань грунту на відстані 20 м при впливі вибухової ударної хвилі на зразок №1(2)

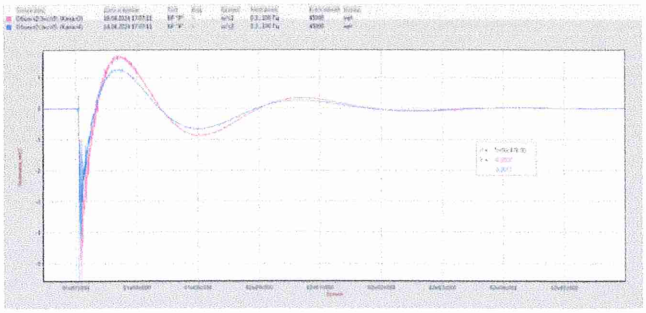


Рис. 17. Порівняння записів віброприскорень грунту на відстані 18 м при впливі вибухової ударної хвилі на зразок № 2:

- канал 3 – у вертикальному напрямку (червона лінія);
- канал 4 – у горизонтальному напрямку (синя лінія)

12.4. Розрахунок навантажень на конструкцію дослідного зразка

Навантаження на дослідний зразок складається із квазістатичного навантаження від повітряної ударної хвилі та інерційного навантаження, що виникає при коливаннях конструкції залізобетонної плити:

$H=P+S_x$,

де P – визначається, виходячи із значення тиску повітряної ударної хвилі ΔP, за відповідними методиками або, в нашому випадку, за виміряними показниками датчиків тиску перед (за) шаром пінобетону;

S_x – горизонтальні інерційні сили, що визначаються відношенням:

$S_{ix}= M_i \cdot a_x$,

де M_i - маса стіни (дослідного зразка); $a_{x=89\ м/с^2}$ –горизонтальне прискорення залізобетонної плити з її площини, яке зареєстровано під час дії повітряної ударної хвилі.

Маса стіни без пінобетону (залізобетонної плити об`ємом $V_{с,\ м^3}$ та щільністю $\rho_{c=2,5т/м^3}$):

$M_1=V_c\cdot \rho_c =2\cdot2\cdot0,15\cdot2,5=1,5\ т.$

Маса стіни із шаром пінобетону об`ємом $V_{fc,\ м^3}$ та щільністю $\rho_{fc=0,6\ т/м^3}$):

$M_2=V_c\cdot \rho_c+ V_{fc}\cdot \rho_{fc}=2\cdot2\cdot0,15\cdot2,5+2\cdot2\cdot0,3\cdot0,6=2,22\ т.$

1. Згідно вимірювань тиск повітряної ударної хвилі перед шаром пінобетону отримано ΔP=2000 кПа. Значення повного навантаження на залізобетонну плиту площею 4 м^2 без захисту пінобетоном:

$H_1=2000кПа\cdot4м^2 + 1,5т\cdot89м/с^2 = 8000 + 134=8134\ кН.$

2. Згідно вимірювань тиск повітряної ударної хвилі за шаром пінобетону дорівнює ΔP=100 кПа. Значення повного навантаження на захищену залізобетонну плиту:

$H_2=100кПа\cdot4м^2 + 2,22т\cdot89\ м/с^2= 598\ кН.$

Таким чином, коефіцієнт зниження навантаження на дослідний зразок залізобетонної плити із застосуванням шару пінобетону товщиною 300 мм складає:

$k_s=H_1/H_2=8134/598=13,6.$

13. Висновки:

1. За результатами натурних експериментальних випробувань захисних властивостей конструкцій з пінобетону BFC при впливі повітряних ударних хвиль встановлено, що:

1.1. При застосуванні у випробуваній конструкції шару з пінобетону BFC товщиною 300 мм і густиною 600 кг/м^3, при підриві вибухових речовин масою 1 кг тротилу, які розташовувалися на висоті 1 м від ґрунту та на відстані 1.5 м від передньої поверхні пінобетонної споруди, відбувалося значне зниження рівня динамічного тиску повітряних ударних хвиль на залізобетонні плити, які були захищені пінобетонними плитами. При цьому відносно незначний верхній шар, що є "жертовним" шаром, зазнавав передбачуваних ушкоджень.

1.2. Тиск ударних хвиль на фронтальну поверхню пінобетонних плит складав близько (2,0 – 2,8) МПа, або (20 – 28) ат.

Тиск ударних хвиль на фронтальну поверхню залізобетонних плит, які захищені пінобетонними плитами, складав близько (0,04 – 0,237) МПа, або (0,4 – 2,37) ат.

Дослідний зразок № 1 зменшив тиск ударної хвилі у майже **8 разів,** при утворенні «жертовного шару» товщиною 12 – 16 мм.

Дослідний зразок № 2 зменшив тиск ударної хвилі у майже **12 разів,** при утворенні «жертовного шару» товщиною 12 – 16 мм.

Дослідний зразок № 3 зменшив тиск ударної хвилі у майже **37 разів,** при утворенні «жертовного шару» товщиною 18 – 22 мм.

Дослідний зразок № 4 зменшив тиск ударної хвилі у майже **53 рази**, при утворенні «жертовного шару» товщиною 36 – 38 мм.

* Модель захисної решітки з композитного матеріалу, для захисту технологічних вентиляційних отворів споруд об'єктів критичної інфраструктури пошкоджень не зазнала. На тильній стороні моделі захисної решітки зафіксовано зниження динамічного тиску ударної хвилі в 4 рази.

2. За результатами визначення фактичних динамічних параметрів (тиску, амплітуд та частот прискорення) коливань конструкцій залізобетонних плит, захищених пінобетоном BFC, при впливі повітряної ударної хвилі, викликаної підривом вибухових речовин встановлено, що коефіцієнт зниження навантаження на залізобетонну плиту (k_s) із застосуванням захисного шару з пінобетону BFC товщиною 300 мм і густиною 600 кг/м^3 дорівнює **13,6**.

3. Розрахунок, наведений у розділах 10.4.–10.5. показує, що проведені експериментальні випробування з підривом вибухових речовин масою 1 кг тротилу на відстані 1,5 м від споруди, умовно моделюють підрив вибухових речовин масою 40 кг тротилу на відстані 4 м від споруди.

4. Випробувані плити пінобетону характеризуються відповідними енергопоглинаючими властивостями і можуть застосовуватися в будівельних конструкціях як шар, що сприяє підвищенню захисту об'єктів критичної інфраструктури та військових об'єктів від впливу повітряної ударної хвилі, викликаної підривом вибухових речовин.

Виконавці:

Директор Інституту технічної теплофізики НАН України,
академік НАН України _____ Ю. Снєжкін

Провідний науковий співробітник ІТТФ НАНУ,
д.т.н., проф. _____ О. Немчин

Директор Інституту гідромеханіки НАН України,
член-кореспондент НАН України,
д.ф.-м.н., проф. _____ Г. Воропаєв

Завідувач науково-дослідного відділу гідродинаміки хвильових та руслових потоків ІГМ НАНУ, д.т.н., с.н.с. _____ В. Воскобійник

Завідувач науково-дослідної лабораторії з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів ІГМ НАНУ, д.т.н., проф. _____ В. Бойко

Начальник науково-дослідного відділу розвитку засобів ураження науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки СВ ЦНДІ ОВТ ЗС України _____ Є. Остапчук

Завідувач відділу автоматизації досліджень та сейсмостійкості будівель і споруд ДП НДІБК, к.т.н. _____ К. Бабік

Провідний науковий співробітник ДП НДІБК, д.т.н., с.н.с. _____ М. Мар'єнков

Директор ТОВ «Енергетичні інноваційні технології» _____ Д. Євдощук

Директор ТОВ «Рив'єра АРТ» _____ А. Сушилін

КИЇВСЬКА МІСЬКА РАДА
Постійна комісія Київської міської ради з питань житлово-комунального господарства та паливно-енергетичного комплексу
вул. Хрещатик, 36, м. Київ, 01001, тел.: (044) 202 73 11, (044) 202 70 09
Контактний центр міста Києва: (044) 15 51, e-mail: communal@kmr.gov.ua, сайт: kmr.gov.ua,
код ЄДРПОУ 22883141

02.08.2024 № 08/284-573 На № 08/30174 від 01.08.2024

Генеральному директору –
голові правління ПрАТ
«АК «Київводоканал»
Олегу ЛИСЮКУ

Директору
КП «Київтеплоенерго»
Вячеславу БІНДУ

Щодо опрацювання звернення та
надання пропозицій

Шановний пане Олегу!

Шановний пане Вячеславе!

У постійну комісію Київської міської ради з питань житлово-комунального господарства та паливно-енергетичного комплексу (далі – Постійна комісія) надійшло звернення від ТОВ «Енергетичні інноваційні технології» (*вх. від 01.08.2024 № 08/30174*) стосовно розгляду пропозиції щодо захисту споруд критичної інфраструктури м. Києва від впливу ударних хвиль, викликаних підривом вибухових речовин.

Просимо Вас опрацювати вищезазначене звернення та надати в Постійну комісію інформацію (пропозиції) щодо можливості застосування пінобетону BFC при визначенні конструктивних рішень та проєктуванні захисних споруд об'єктів критичної інфраструктури для розгляду на найближчому засіданні Постійної комісії, яке планується провести 14.08.2024.

Додаток на 20 арк. в 1 прим.

З повагою,
голова постійної комісії Олександр БРОДСЬКИЙ

Валентина Антонюк 202-73-11
Олена Єрмолаєва
Діна Тернова