

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
Кафедра інженерної екології**

**УДК 623.565.23**

**КАНАР МАРИНА ОЛЕКСАНДРІВНА**

**ВПЛИВ ПОВІТРЯНО-УДАРНИХ ХВИЛЬ НА ЕКОСИСТЕМИ**

**Спеціальність 101 «Екологія»**

**Автореферат  
магістерської дисертації  
на здобуття освітнього ступеня «магістр»**

**Київ – 2018**

**Магістерська дисертація освітнього ступеня «магістр»:**

Робота виконана на кафедрі інженерної екології в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Ремез Наталя Сергіївна**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського»  
професор кафедри інженерної екології

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор  
**Зуєвська Наталія Валеріївна**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського»  
професор кафедри геобудівництва та гірничих  
технологій

Захист відбудеться «25» травня 2018 р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні ДЕК кафедри інженерної екології в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 201-22.

З дисертацією можна ознайомитися на кафедрі інженерної екології в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 203-22.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми дослідження.** У зв'язку зі збільшенням об'ємів проведення гірничих робіт та наближенням кар'єрних полів до екосистем, що охороняються, виникає питання про їх безпеку при інтенсивних динамічних навантаженнях. Також особливої уваги потребують території, де окрім екологічних проблем, притаманних виробничим процесам, існують інші види небезпек, наприклад, пов'язані із веденням воєнних дій (бомбардування, вибухів воєнних складів боєприпасів, мінування, використання фосфорних мін, знищення інфраструктури населених пунктів тощо). Тому перед науковцями гостро постає питання про безпеку природно-техногенних екосистем при поширенні повітряно-ударних хвиль.

У зв'язку з цим дослідження параметрів повітряно-ударних хвиль (ПУХ), що впливають на охоронні екосистеми під час вибухів, і прогнозування ступеня пошкодження техногенних систем та ураження живих організмів є **актуальною науково-практичною задачею**.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Магістерська дисертація виконана у Інституті енергозбереження та енергоменеджменті у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України.

**Метою** дослідження є теоретичне обґрунтування параметрів повітряно-ударних хвиль для прогнозу їх руйнівної дії на екосистеми.

Для досягнення поставленої мети та одержання конкретних результатів дослідження було поставлено такі **завдання**:

- зробити аналіз наукових та практичних досягнень впливу повітряно-ударних хвиль на екосистеми;

- провести математичне моделювання процесу поширення повітряно-ударних хвиль при вибухах та їх взаємодії з природно-техногенними екосистемами;

- встановити математичні залежності параметрів повітряно-ударних хвиль від типу і маси вибухової речовини та відстані від джерела виникнення для розрахунку їх впливу на елементи екосистеми;

- запропонувати заходи щодо зниження інтенсивності впливу повітряно-ударних хвиль на екосистеми.

**Об'єктом** дослідження є процес утворення та поширення повітряно-ударних хвиль при вибухах традиційних та нових сумішевих вибухових речовин та їх вплив на екосистеми.

**Предметом** дослідження є параметри повітряно-ударних хвиль при вибухах традиційних та нових сумішевих вибухових речовин та оцінка ступеня пошкодження техногенних систем та ураження живих організмів.

**Методи дослідження.** У роботі було використано систему загальнонаукових і спеціальних методів пізнання. Теоретичною і методичною

основою дипломної роботи є системно–аналітичний підхід вивчення параметрів повітряно-ударних хвиль та прогноз їх руйнівної дії на екосистеми.

Для вирішення поставлених завдань у роботі було використано такі методи: системний аналіз науково-технічної літератури – для аналізу праць відомих вчених та дослідженні відкритих питань в межах теми магістерської дисертації; метод математичного моделювання та прогнозування – для оцінки залежності поширення повітряно-ударних хвиль в природному середовищі; метод математичної статистики для апроксимації даних та встановлення залежностей – для встановлення залежності параметрів повітряно-ударних хвиль від часу, маси вибухової речовини та відстані від джерела виникнення для розрахунку їх впливу на елементи екосистеми та визначення негативної дії надлишкового тиску під час вибуху різних вибухових речовин; методи сучасних комп'ютерних технологій обробки інформації, зокрема, пакет прикладних програм MS Excel та Mathcad; графіко-аналітичний аналіз – для наочного аналізу отриманих результатів.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

- дістали подальшого розвитку уявлення про поширення повітряно-ударних хвиль при застосуванні зарядів нових сумішевих вибухових речовин;

- встановлені закономірності зміни параметрів повітряно-ударних хвиль (надлишкового тиску, швидкісного напору, питомого імпульсу та часу дії позитивної фази хвилі) від типу і маси вибухової речовини та відстані від епіцентру вибуху;

- отримані математичні залежності надлишкового тиску, швидкісного напору, питомого імпульсу та часу дії позитивної фази хвилі від типу і маси вибухової речовини та відстані від епіцентру вибуху, що дає змогу робити прогнозну оцінку руйнуючої дії повітряно-ударних хвиль на екосистеми.

#### **Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що:

- на базі дослідження було проведене теоретичне обґрунтування параметрів повітряно-ударних хвиль, значення яких необхідно враховувати при проведенні буро-підричних робіт для зниження руйнівної дії на екосистеми;

- на основі встановлених залежностей надлишкового тиску, питомого імпульсу від типу і маси заряду вибухової речовини, а також відстані від епіцентру вибуху розроблено інженерну методику розрахунку небезпечних параметрів вибуху на живі складові екосистем.

**Публікації за обраною темою.** Результати наукових досліджень були представлені на IX Міжнародній науково-практичній конференції «Енергетика. Екологія. Людина». «Ресурсозбереження і екологічна безпека» (8 грудня 2016 року) та на X Міжнародній науково-практичній конференції «Енергетика. Екологія. Людина» (26 квітня 2018 року).

**Структура і об'єм роботи.** Дисертаційна робота викладена на 106 сторінках складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 68 найменувань, містить 30 рисунків, 39 таблиць, 59 формул.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми магістерської дисертації і необхідність проведення досліджень, сформульовані мета і задачі досліджень, предмет і об'єкт дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проведений аналіз наукових та практичних досліджень впливу повітряно-ударних хвиль на екосистеми

З літературних джерел встановлено, що основними параметрами повітряно-ударної хвилі (ПУХ), що визначають її руйнуючу і уражаючу дію, є:

- надлишковий тиск  $\Delta P_1$ , Па;
- швидкісний напір  $\Delta P_{III}$ , Па;
- питомий імпульс тиску  $I$ , Па\*с;
- час дії ударної хвилі  $\tau_+$ , с.

Надлишковий тиск на фронті ударної хвилі - основний параметр, що визначає нищівну силу ударної хвилі. Це різниця між максимальним  $P_1$  і атмосферним тиском  $P_0$ :  $\Delta P_1 = P_1 - P_0$ .

Тиск швидкісного напору  $\Delta P_{III}$  також характеризує рушійну силу ударної хвилі. Швидкісний напір виникає внаслідок того, що частинки повітря в усіх точках фронту ударної хвилі різко зміщуються у напрямку від центру вибуху, а потім у зворотний бік. Тіло, що перебуває на шляху зміщення частинок повітря, відчуває силовий вплив, що представляє собою векторну величину.

Питомий імпульс тиску залежить від маси заряду, від відстані від точки вибуху та від питомої теплоти вибуху вибухової речовини.

Час дії ударної хвилі  $\tau_+$  - це час дії надлишкового тиску.

Дослідженням по визначенню та оцінці впливу повітряно-ударних хвиль присвячені роботи Садовського М. А., Ремез Н. С., Фоміна Н. Ф., Шаповалова В. М., Яковлева Н. Н., Романова В. В., Лучко І. А., Воробйова В. Д., Крючкова А. І, Туручко І. І., Косьміна І. В. Лотоуса К. В., Фролова О. О та інші. Більшість робіт присвячено дослідженням підземних та наземних вибухів та їх уражаючих факторів на охоронні об'єкти при застосуванні традиційних промислових вибухових речовин.

У більшості наукових публікаціях основна увага приділяється питанню дослідження впливу вибухової ударної хвилі, особливостям її розповсюдження та встановленню безпечних відстаней при її дії. Розглядаються основні закономірності розвитку ПУХ та досліджуються основні параметри ПУХ при вибуху в повітрі, які визначають її вплив на оточуючі об'єкти. Це – максимальний надлишковий тиск на фронті ПУХ, тривалість фази стиснення та питомий імпульс позитивної фази надлишкового тиску. Особлива увага приділяється питанню взаємодії ПУХ з перешкодами, досліджується відбиття ударної хвилі від поверхонь та обтікання хвилею різних перешкод та зміна параметрів ПУХ при цьому.

На сьогодні широке практичне застосування набули нові безтритлові сумішеві ВР, технічна та економічна ефективність яких доведена. Але відсутнє

теоретичне обґрунтування екологічної безпеки використання цих ВР і взаємодії повітряно-вибухових хвиль при проведенні вибухових робіт з елементами екосистем.

**Другий розділ** присвячений математичному моделюванню процесу поширення повітряно-ударних хвиль при вибухах та їх взаємодії з природно-техногенними екосистемами в залежності від типу вибухової речовини.

У теорії та практиці підричних робіт основним фактором інтенсивності утворення повітряно-ударних хвиль вважають тип вибухової речовини (ВР). На сьогоднішній день існують не тільки традиційні вибухові речовини, але й нові суміші, які вважаються менш шкідливими для навколишнього середовища та більш ефективними в підричних роботах. Сьогодні широко виконуються дослідження щодо розроблення нових промислових сумішевих вибухових речовин (ВР) і методів їх застосування на відкритих гірничих роботах.

Практично вся енергія вибуху (>90%) ВР витрачається на утворення повітряно-ударних хвиль. Енергія, що виділяється при вибуху, призводить до виникнення і розповсюдження в навколишньому середовищі дуже вузької зони стиснення-розрідження. У межах цієї зони, що поширюється з надзвуковою швидкістю, протікають фізичні процеси, звані ударною хвилею. Суть цих процесів полягає в стрибкоподібній зміні всіх параметрів середовища (тиску, температури, густини). Тип вибухової речовини є основним показником при визначенні максимального (надлишкового) тиску на фронті ударної хвилі та швидкості його збільшення.

Традиційною вибуховою речовиною є тротил. Ця ВР призначена для підривання гірських порід на підземних та відкритих гірничих роботах.

До нових сумішевих вибухових речовин відносять полімікс ГР4-Т10, комполайт ГС6 та полімікс ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%).

Рух повітря при поширенні ПУХ описується системою диференціальних рівнянь, які визначають закони збереження кількості руху, маси та імпульсу :

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} &= 0, \\ \frac{\partial \ln \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \ln \rho}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{Nu}{r} &= 0, \\ \frac{\partial (p/\rho^\gamma)}{\partial t} + u \frac{\partial (p/\rho^\gamma)}{\partial r} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $p$  – тиск, Па;  $t$  – момент часу, с;  $\gamma$  – показник ізентропи;  $\rho$  – щільність ВР, кг/м<sup>3</sup>.

Для вивчення точкового вибуху основна система диференціальних рівнянь (1) перетворюється в систему звичайних диференціальних рівнянь, у результаті розв'язку якої отримані залежності для розрахунку надлишкового тиску на фронті ударної хвилі

$$\Delta P = \frac{3(\gamma - 1)\rho_0 Q}{2} \left(\frac{r_0}{r_H}\right)^3 + \frac{P_a}{2}, \quad (2)$$

де  $\gamma$  – показник ізентропи;  $\rho_0$  – щільність ВР, кг/м<sup>3</sup>;  $Q$ - теплота вибухового перетворення ВР (теплота вибуху), Дж/кг;  $r_0$ - радіус заряду, м;  $r_H$ - відстань розповсюдження вибухової хвилі, м;  $P_a$  – атмосферний тиск, Па.

Параметри досліджених вибухових речовин наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Параметри вибуху традиційних та нових сумішевих ВР

№	ВР	Параметри		
		$Q$ , Дж/кг	$\gamma$	$\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>
1	Тротил	$4184 \cdot 10^3$	1,25	1600
2	Полімікс ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%)	$3355,7 \cdot 10^3$	1,242	1000
3	Комполайт ГС6	$3919,7 \cdot 10^3$	1,235	852
4	Полімікс ГР4-Т10	$3864,4 \cdot 10^3$	1,245	872

У результаті чисельного розв'язання задачі були отримані графічні функціональні залежності зміни надлишкового тиску від відстані розповсюдження цієї хвилі для різних радіусах заряду (рис.1 – 3).

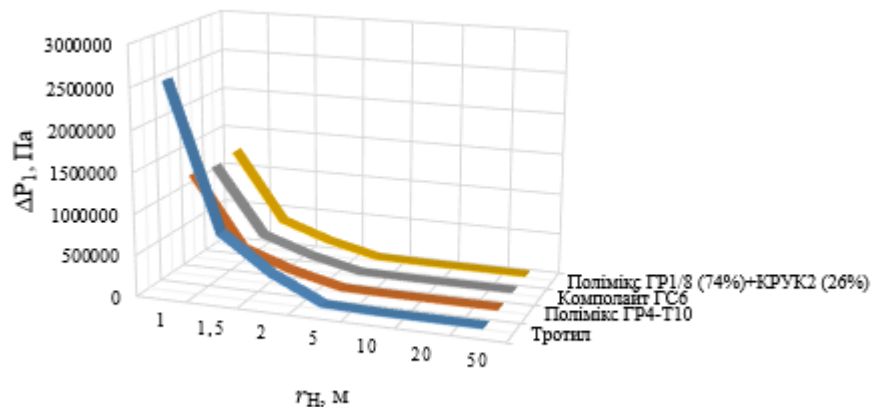


Рисунок 1 – Залежність зміни надлишкового тиску повітряно-ударної хвилі від осередку вибуху хвилі при  $r_0 = 0,1$  м

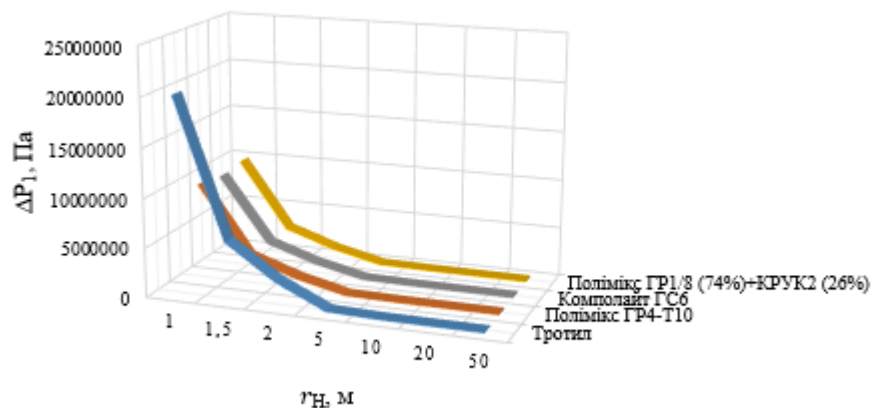


Рисунок 2 – Залежність зміни надлишкового тиску повітряно-ударної хвилі від осередку вибуху при  $r_0 = 0,2$  м

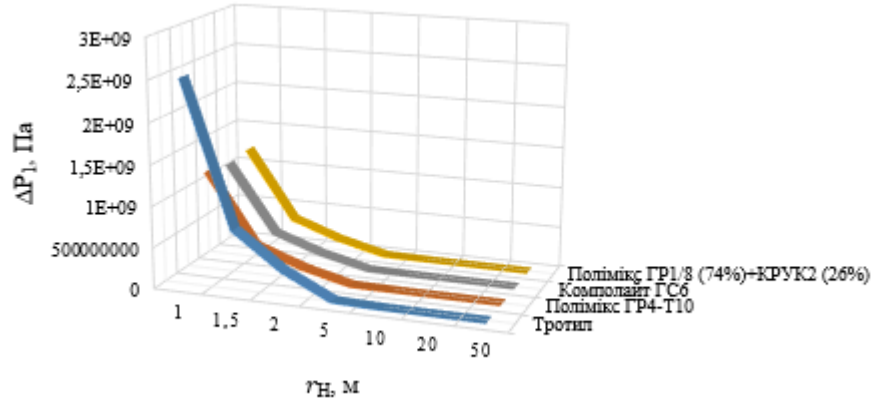


Рисунок 3 – Залежність зміни надлишкового тиску повітряно-ударної хвилі від осередку вибуху при  $r_0 = 1$  м

За аналізу результатами розрахунків та отриманих залежностей, видно, що надлишковий тиск повітряно-ударної хвилі, утворений при вибуху традиційної вибухової речовини – тротилу значно більший, ніж під час вибуху нових сумішевих вибухових речовин: поліміксу ГР4-Т10, комполайту ГС6 та поліміксу ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%). На відстані розповсюдження повітряно-ударної хвилі в 1 м, при заряді радіусом 0,1 м та 0,2 м, надлишковий тиск тротилу в 2 рази більше ніж у нових сумішевих ВР. На відстані 1,5 та 2 м, різниця скорочується та становить 90-75%. На відстані від 5 м від епіцентру вибуху, значення надлишкового тиску майже однакові. Це пояснюється тим, що в ближній зоні вибуху тротил має значно більші параметри вибуху (тиск, щільність, теплота випромінювання тощо), але з збільшенням відстані від джерела хвилі, утворені вибухом тротилу загасають значно інтенсивніше, ніж від сумішевих ВР, тому що при вибуху зарядів тротилу значно більші енергетичні втрати на фронті ударної хвилі. Звідси можна зробити висновок, що в дальній зоні вибуху параметри повітряно-ударних хвиль слабо залежать від типу ВР, а визначаються масою заряду.

Для заряду, радіусом 1 м на відстані розповсюдження повітряно-ударної хвилі від 1 до 10 м, надлишковий тиск тротилу в 2 рази більший, ніж у нових сумішевих ВР, на відстані 20 м – більший на 79%, при відстані в 50 м різниця значно скорочується та становить 17%.

Після розрахунку дії вибуху зарядів традиційних та нових сумішевих ВР за надлишковим тиском на фронті ударної хвилі, був визначений імпульс для цих самих вибухових речовин (табл.2).

Імпульс розрахуємо за формулою

$$I = 1,4 \sqrt{\frac{E}{r_1}}, \quad (3)$$

де

$$E = \frac{32\pi}{9} p_H r_H^3, \quad (4)$$



$r_1$  – відстань, яку проходить фронт хвилі, м;  $p_H$  – тиск, який визначається за формулою  $\Delta P + P_a = p_H$ , Па;  $r_H$  – відстань розповсюдження вибухової хвилі, м.

Таблиця 2– Імпульс утворений в результаті вибуху тротилу та нових сумішевих ВР

Радіус заряду, м	Відстань розповсюдження вибухової хвилі, м						
	1	1,5	2	5	10	20	50
Імпульс утворений в результаті вибуху тротилу, I, Па*с							
$r_0=0,1$	7632,771	3834,291	2019,159	1372,098	1501,282	1825,57	1823,808
$r_0=0,2$	21042,64	10007,68	4827,388	1849,537	1584,362	1838,687	1824,652
$r_0=1$	234385,7	110498,4	52421,35	14879,39	6232,131	3192,571	1940,439
Імпульс утворений в результаті вибуху поліміксу ГР4-Т10, I, Па*с							
$r_0=0,1$	5515,848	2918,274	1638,68	1330,907	1495,089	1824,616	1823,747
$r_0=0,2$	14836,3	7118,28	3488,528	1590,622	1536,799	1831,103	1824,163
$r_0=1$	164627	77617,24	36827,53	10490,85	4503,671	2590,981	1882,187
Імпульс утворений в результаті вибуху комполайту ГС6, I, Па*с							
$r_0=0,1$	5393,123	2866,846	1618,126	1328,894	1494,79	1824,571	1823,744
$r_0=0,2$	14470,84	6949,087	3410,91	1577,098	1534,474	1830,737	1824,14
$r_0=1$	160509,4	75676,44	35907,2	10232,43	4403,466	2558,482	1879,34
Імпульс утворений в результаті вибуху поліміксу ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%), I, Па*с							
$r_0=0,1$	5475,5	2901,339	1631,9	1330,241	1494,99	1824,601	1823,746
$r_0=0,2$	14716,25	7062,684	3463,01	1586,155	1536,029	1830,981	1824,156
$r_0=1$	163274,6	76979,77	36525,24	10405,96	4470,727	2580,261	1881,244

За результатами розрахунків отримано, зі збільшенням надлишкового тиску імпульс повітряно-ударної хвилі – зростає. Імпульс повітряно-ударної хвилі, утворений при вибуху традиційної вибухової речовини – тротилу більше на 40% ніж під час вибуху нових сумішевих вибухових речовинах, для усіх досліджених радіусів зарядів на відстані 1 м від епіцентру вибуху. На відстані 1,5 та 2 м, ця різниця становить 30% та 20% відповідно. При відстані від 5 м, значення імпульсу майже однакове для зарядів радіусом в 0,1 та 0,2 м, проте для заряду з радіусом 1 м – при відстані від епіцентру вибуху від 1,5 до 20 м різниця становить 40%, а від 20 м – 20%.

Отже, традиційна вибухова речовина, така як тротил, утворює сильніший імпульс під час вибуху, а отже й сила руйнування оточуючих об'єктів вище, ніж у нових сумішевих вибухових речовинах. Застосування НСВР при підривних роботах безпечніше, з точки зору утворення імпульсу.

У третьому розділі встановлені математичні залежності параметрів повітряно-ударних хвиль від типу і маси вибухової речовини (табл.3) та відстані від джерела виникнення (табл.4).

Таблиця 3 – Залежність параметрів ПУХ від маси заряду

Параметри	$y = bx^a$	$R^2$	Параметри	$y = bx^a$	$R^2$
Для тротилу					
$\Delta P_1 = f(m)$	$y = 9901,3x^{0,7034}$	0,998	$I = f(m)$	$y = 0,63x^{0,6667}$	1
$\Delta P_{ш} = f(m)$	$y = 423,12x^{1,301}$	0,999	$\tau_+ = f(m)$	$y = 4,6171x^{0,1667}$	1
Для поліміксу ГР4-Т10			Для комполайту ГС6		
$\Delta P_1 = f(m)$	$y = 9901,3x^{0,703}$	0,998	$\Delta P_1 = f(m)$	$y = 7932,4x^{0,647}$	0,998
$\Delta P_{ш} = f(m)$	$y = 423,12x^{1,301}$	0,999	$\Delta P_{ш} = f(m)$	$y = 250,87x^{1,2262}$	0,999
Для поліміксу ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%)					
$\Delta P_1 = f(m)$	$y = 7457,5x^{0,636}$	0,998	$\Delta P_{ш} = f(m)$	$y = 218,73x^{1,211}$	0,999

За допомогою пакету Microsoft Excel були отримані аналітичні залежності впливу маси заряду різної вибухової речовини на параметри вибухової хвилі. Отримані аналітичні залежності, в вигляді степеневі функції  $y = bx^a$ , свідчать про високий показник достовірності апроксимації даних ( $R^2 \approx 1$ ). Завдяки проведеним розрахункам та такому аналізу видно, спостерігається пряма залежність збільшення параметрів повітряно-ударних хвиль, таких як: надлишковий тиск, швидкісний напір, питомий імпульс та час дії хвилі зі збільшенням маси вибухової речовини.

Таблиця 4 – Залежність параметрів ПУХ від епіцентру вибуху

Параметри	$y = bx^a$	$R^2$	Параметри	$y = bx^a$	$R^2$
Для тротилу					
$\Delta P_1 = f(R)$	$y = 4 * 10^6 x^{-1,535}$	0,9895	$I = f(R)$	$y = 85,545x^{-1}$	1
$\Delta P_{ш} = f(R)$	$y = 5 * 10^7 x^{-3,005}$	0,9917	$\tau_+ = f(R)$	$y = 2,8025x^{-0,5}$	1
Для поліміксу ГР4-Т10			Для комполайту ГС6		
$\Delta P_1 = f(R)$	$y = 2 * 10^6 x^{-1,424}$	0,9913	$\Delta P_1 = f(R)$	$y = 2 * 10^6 x^{-1,426}$	0,9912
$\Delta P_{ш} = f(R)$	$y = 1 * 10^7 x^{-2,803}$	0,9926	$\Delta P_{ш} = f(R)$	$y = 1 * 10^7 x^{-2,806}$	0,9926
Для поліміксу ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%)					
$\Delta P_1 = f(R)$	$y = 2 * 10^6 x^{-1,407}$	0,9916	$\Delta P_{ш} = f(R)$	$y = 1 * 10^7 x^{-2,772}$	0,9928

За допомогою пакету Microsoft Excel були отримані аналітичні залежності впливу відстані від епіцентру вибуху різної вибухової речовини на параметри повітряно-вибухової хвилі. Отримані аналітичні залежності, в вигляді степеневі функції  $y = bx^a$ , свідчать про високий показник достовірності апроксимації даних ( $R^2 \approx 1$ ). Завдяки такому аналізу видно, чим більша відстань від епіцентру вибуху, тим менший надлишковий тиск, швидкісний напір та питомий імпульс.

Таблиця 5 – Руйнування (пошкодження) елементів споруд, чутливих до дії максимального надлишкового тиску під час вибуху тротилу та НВСП

Елементи споруди	Характер руйнування (пошкодження)	$\Delta P_1$ , Па	Відстань розповсюдження вибухової хвилі, гн, м			Відстань розповсюдження вибухової хвилі, гн, м		
			Тротил			НВСП		
			$r_0=0,1$ м	$r_0=0,2$ м	$r_0=1$ м	$r_0=0,1$ м	$r_0=0,2$ м	$r_0=1$ м
Вікна (великі і малі)	Вибивання скла; можливе руйнування віконних рам.	35000-70000	від 5 і більше	від 10 і більше	більше 50	5-50	10-50	50 і більше
Легке стінове заповнення з хвилястих азбестових панелей.	Руйнування.	70000-140000	5	6,5-10	50	2,5-4	5-8	24-40
Панелі з хвилястою сталі та алюмінію.	Порушення з'єднань з наступною сильною деформацією.	70000-140000	5	6,5-10	50	2,5-4	5-8	24-40
Цегляні стіни товщиною 20 - 30,5 см	Руйнування, викликані деформацією зрізу і зміщенням.	490000-560000	1,5-2	3,5	17-18	1,5	2,5-3	14-14,5
Стінове заповнення з дерев'яних панелей	Порушення з'єднань і зрив дерев'яних панелей.	70000-140000	5	6,5-10	50	2,5-4	5-8	24-40
Бетонні стіни товщиною 20-30,5см	Руйнування стін.	140000-210000	2,5-3	5-6	25-31,5	2	4-4,5	20
Легкі склепінні наземні споруди з хвилястих сталевих панелей довжиною 6 - 7,5 м, з товщиною ґрунтовій обсіпання над склепінням 0,9м.	Повне руйнування.	2450000-2800000	1 і менше	2	10,5-11	менше 1	3,5	8,5-9
	Деформація торцевих стінок і склепіння	1400000-1750000	1-1,5	2,5	25-27	менше 1	4,5	10-10,5
	Можливо пошкодження вентиляційної системи і вхідних дверей.	70000-100000	5	6,5-8	50	2,5-3	6-8	29-40
Легке залізобетонне наземне або заглиблене укриття з ґрунтової обсіпанням товщиною не менше 0,9 м	Руйнування споруди.	2100000-2450000	менше 1	2	11-11,5	менше 1	4	9-9,5
	Часткове руйнування споруди.	1750000-2100000	1-1,5	2-2,5	25-31,5	2	4-4,5	20
	Деформація панелей, утворення великої кількості тріщин	1000000-1750000	1-1,5	2,5	12-14	1	5	10-11,5



Зіставлення результатів розрахунків надлишкового тиску (табл.5), утвореного під час вибуху тротилу та нових сумішевих вибухових речовин, свідчать про те, за умови утворення однакового тиску з однаковим радіусом заряду ВР відстань, на якій відбувається руйнування споруд більша у тротилу, ніж у нових сумішевих ВР. Так, наприклад, при руйнування стін під дією надлишкового тиску у 140000-210000 Па при  $r_0=0,1$  м під час вибуху нових ВР відбувається на відстані в 2 м, а під час вибуху на відстані 2,5-3 м.

Таким чином, застосування під час вибухових робіт таких речовин, як полімікс ГР4-Т10, комполайт ГС6 та полімікс ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%), більш безпечніше для збереження неушкодженості споруд на більштх відстанях.

Виходячи з порівняння розрахункових результатів та ступенем ураження (табл.6), маємо, що використання такої вибухової речовини, як тротил, є більш небезпечнішим для здоров'я людей, ніж використання нових сумішевих вибухових речовин., таких як полімікс ГР4-Т10, комполайт ГС6 та полімікс ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%), так як, наприклад, загибель людей в результаті прямого впливу ПУХ від час вибуху ВР із  $r_0=0,1$  м при надлишковому тиску 190000 Па для тротилу відбудеться на відстані 2,5-3 м, а під час вибуху нових сумішевих ВР на відстані 3-3,5 м.

Для практичного застосування теоретичних результатів поширення ПУХ та їх дії на живі елементи екосистеми, розроблено методику розрахунку безпечних параметрів вибуху.

На основі встановлених залежностей надлишкового тиску, питомого імпульсу від типу та маси ВР, а також відстані від джерела вибуху, були побудовані номограми для визначення безпечних для живих організмів відстаней або маси заряду ВР (рис.4-5).

Для побудови залежності  $P_{cp}$  від відносної відстані  $\bar{r} = \sqrt[3]{m} / r$ , були приведені розрахунки, приклад яких для тротилу наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.29 – Залежність тиску від відносної відстані для тротилу

$r, \text{ м}$	$\sqrt[3]{m} / r$			$\Delta P_1, \text{ Па}$		
	$m = 6,7 \text{ кг}$	$m = 13,4 \text{ кг}$	$m = 6702 \text{ кг}$	$m = 6,7 \text{ кг}$	$m = 13,4 \text{ кг}$	$m = 6702 \text{ кг}$
1	1,885	2,375	18,848	$2,6 \cdot 10^6$	$20,13 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^9$
1,5	1,26	1,58	10,57	$0,8 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$	$7,44 \cdot 10^8$
2	0,943	1,188	9,424	$0,36 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^6$	$3,14 \cdot 10^8$
5	0,38	0,48	3,77	$70,7 \cdot 10^3$	$211 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^7$
10	0,19	0,24	1,9	$53 \cdot 10^3$	$60,7 \cdot 10^3$	$2,56 \cdot 10^6$
20	0,095	0,12	0,95	$50,9 \cdot 10^3$	$53,2 \cdot 10^3$	$0,36 \cdot 10^6$

На рис. 4-5 зображено номограми визначення безпечних параметрів вибуху для різних типів ВР: 1 – тротил, 2 – полімікс ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%), 3 – комполайт ГС6, 4 – полімікс ГР4-Т10.

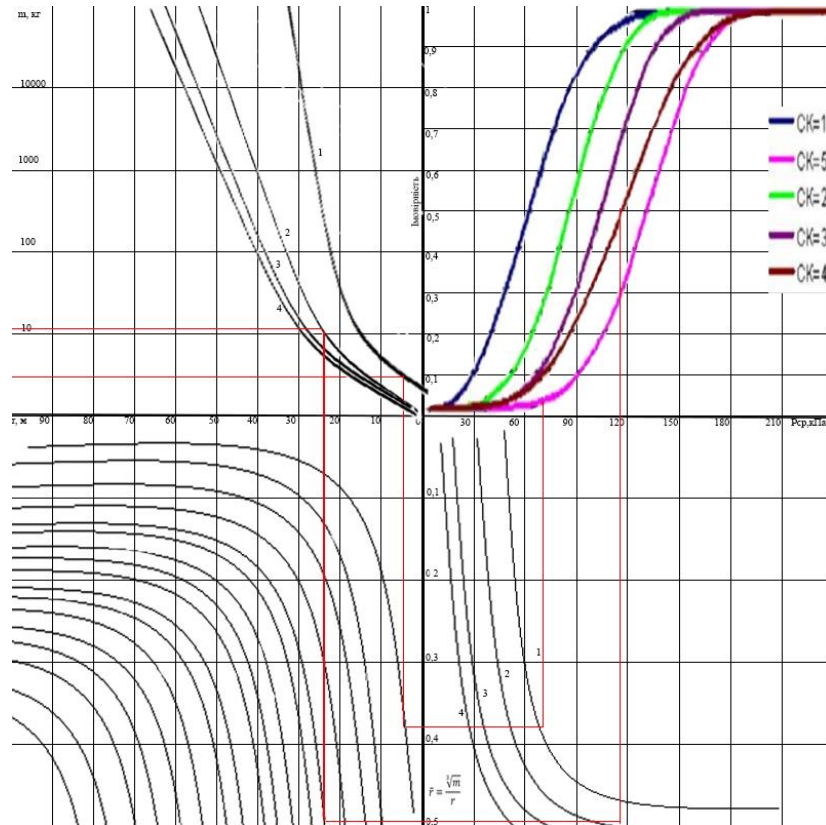


Рисунок 4 – Номограма визначення безпечних параметрів вибуху для різних типів ВР для людей

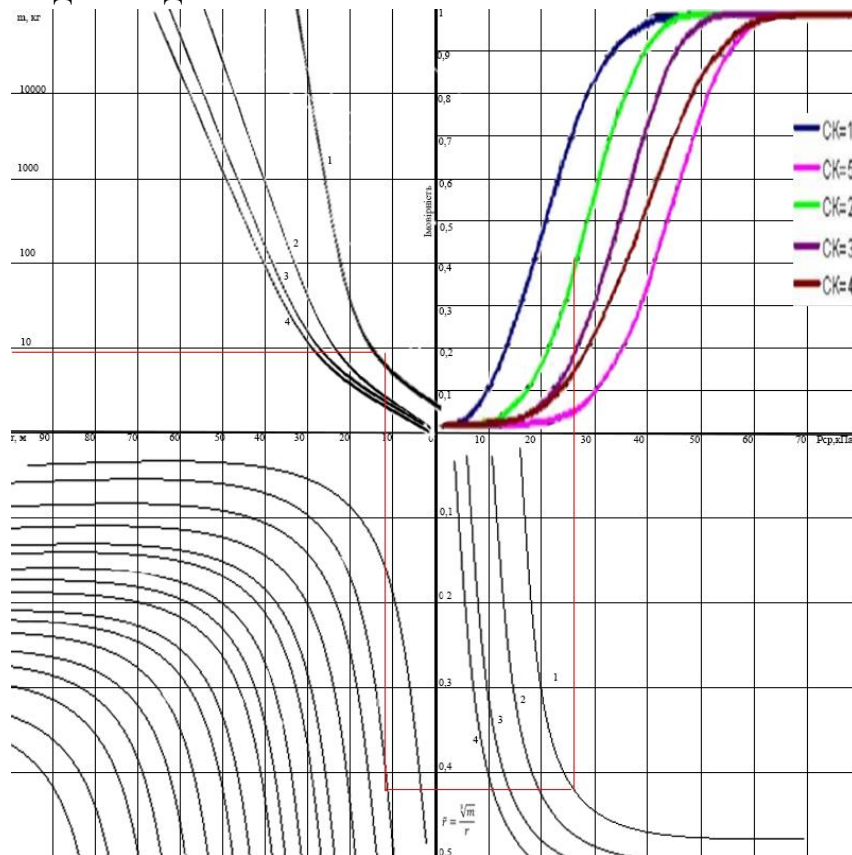


Рисунок 5 – Номограма визначення безпечних параметрів вибуху для різних типів ВР для собак, кроликів, свиней

**У четвертому розділі** запропоновані заходи щодо зниження параметрів повітряно-ударних хвиль можливе при застосуванні таких заходів:

1. Застосування методу короткоуповільненого підривання. Цей метод дозволить знизити ступінь впливу повітряно-ударних хвиль на спори та живі організми. При короткоуповільненому підриванні зарядів утворюється кілька наступних один за одним імпульсів ПУХ, який буде значно меншим ніж при звичайному вибуху, а характер взаємодії повітряних хвиль визначається інтервалом уповільнення і відстанню між групами.

2. Використання пористих поверхонь призводить до зменшення амплітуди ударної хвилі і імпульсу тиску, а використання додаткового покриття з поліпропіленової стрічки може привести до багаторазового збільшення амплітуди тиску і імпульсу саме на стінки технологічних конструкцій.

3. За допомогою повітряно-водної завіси можливе зниження надлишкового тиску ПУХ завдяки водному бар'єру. У повітряно-водну завісу потрапляють повітряно-ударні хвилі на деякій відстані та відбуваються диспергування крапель рідини до дрібнодисперсного стану. Саме процес диспергування крапель води, що носить «вибуховий» характер, є ключовим, і з урахуванням цього можна говорити про фізичний механізм захисної дії ПУХ.

## ВИСНОВКИ

Магістерська дисертація присвячена питанню дослідження параметрів повітряно-ударних хвиль (ПУХ) традиційних на нових сумішевих вибухових речовин, що впливають на охоронні екосистеми під час вибухів.

1. З аналізу літературних джерел встановлено, що основними параметрами повітряно-ударної хвилі, що визначають її руйнуючу і вражаючу дію, є: надлишковий тиск, швидкісний напір, питомий імпульс тиску та час дії позитивної фази ударної хвилі.

2. На сьогодні широке практичне застосування набули нові безтротиліві сумішеві ВР, технічна та економічна ефективність яких доведена. Але відсутнє теоретичне обґрунтування екологічної безпеки використання цих ВР і взаємодії повітряно-вибухових хвиль при проведенні вибухових робіт з елементами екосистем.

3. На основі математичного моделювання процесу розповсюдження повітряно-ударних хвиль та її взаємодії з природно-техногенними екосистемами досліджено вплив традиційних та нових сумішевих вибухових речовин на параметри ПУХ. В результаті чисельних розрахунків встановлено, що під час вибуху зарядів традиційної ВР (тротил), утворюється сильніший, в середньому на 85%, надлишковий тиск, ніж у нових СВР. Отже, застосування поліміксу ГР4-Т10, комполайту ГС6 та поліміксу ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%) при підривних роботах безпечніше, з точки зору утворення надлишкового тиску.

4. Встановлені функціональні (степеневі) залежності надлишкового тиску від відстані джерела вибуху та маси заряду і імпульсу від надлишкового тиску та радіуса заряду для різних типів ВР.

5. Встановлено, що зі збільшенням надлишкового тиску імпульс повітряно-ударної хвилі зростає. При використанні тротилу утворюється питомий імпульс значно сильніший (на 40%) , ніж при підриванні нових сумішевих вибухових речовин.

6. Виявлено, що руйнівна та уражаюча дія при вибуху заряду тротилу значно більша, ніж у НСВР. Безпечна відстань від джерела вибуху таких зарядів збільшується на 25 – 50 %.

7. На основі встановлених залежностей надлишкового тиску, питомого імпульсу від типу і маси заряду ВР, а також відстані від епіцентру вибуху розроблено інженерну методику розрахунку небезпечних параметрів вибуху на живі складові екосистем.

8. Для зниження ступеня впливу повітряно-ударних хвиль на споруди та живі організми застосовуються такі заходи: а) короткоуповільнене підривання дозволяє значно знизити імпульс за рахунок введення замість одного заряду групи з інтервалом уповільнення; меншим ніж при звичайному вибуху, б) використання пористих поверхонь стінки техногенних складових екосистем призводить до зменшення амплітуди ударної хвилі і імпульсу тиску; в) створення повітряно-водної завіси знижує надлишковий тиск ПУХ завдяки водному бар'єру.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Канар М. О. Вплив повітряних ударних хвиль на об'єкти, що охороняються / М. О. Канар, Н. С. Ремез // Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці «КПІ імені Ігоря Сікорського», ІЕЕ. – Київ: «КПІ імені Ігоря Сікорського», ІЕЕ, 2016. – 133 с. – с. 65-66.

2. Канар М. О. Вплив вибухових речовин на надлишковий тиск повітряно-ударних хвиль / М. О. Канар, Н. С. Ремез // Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці «КПІ імені Ігоря Сікорського», ІЕЕ. – Київ: «КПІ імені Ігоря Сікорського», ІЕЕ, 2018. (26 квітня 2018 року).

## АНОТАЦІЯ

Канар М. О. «Вплив повітряно-ударних хвиль на екосистеми». – Рукопис

Магістерська дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків. Робота виконана в обсязі 106 сторінок, містить 30 рисунків, 39 таблиць, 59 формул.

Метою дослідження є теоретичне обґрунтування параметрів повітряно-ударних хвиль для прогнозу їх руйнівної дії на екосистеми.



Об'єктом дослідження є процес утворення та поширення повітряно-ударних хвиль при вибухах традиційних та нових сумішевих вибухових речовин та їх вплив на екосистеми.

Предметом дослідження є параметри повітряно-ударних хвиль при вибухах традиційних та нових сумішевих вибухових речовин та оцінка ступеня пошкодження техногенних систем та ураження живих організмів.

Методи дослідження: системний аналіз науково-технічної літератури; метод математичного моделювання та прогнозування; метод математичної статистики для апроксимації даних та встановлення залежностей; методи сучасних комп'ютерних технологій обробки інформації, зокрема, пакет прикладних програм MS Excel та Mathcad; графіко-аналітичний аналіз.

Проведений аналіз особливостей виникнення, поширення та наслідків дії повітряно-ударних хвиль. Встановлені закономірності зміни параметрів повітряно-ударних хвиль та математичні залежності надлишкового тиску, швидкісного напору, питомого імпульсу та часу дії позитивної фази хвилі дають змогу робити прогнозну оцінку руйнуючої дії повітряно-ударних хвиль на екосистеми.

Отримані результати дослідження необхідно враховувати при проведенні буро-підричних робіт для зниження руйнівної дії на екосистеми.

**Ключові слова:** повітряно-ударні хвилі, екосистеми, вибух, вибухові речовини, надлишковий тиск, питомий імпульс, тротиловий еквівалент, розповсюдження вибухової хвилі, руйнівна дія.

## АННОТАЦІЯ

Канарь М. А. «Влияние воздушно-ударных волн на экосистемы». - Рукопись

Магистерская диссертация состоит из введения, 4 разделов, выводов. Работа выполнена в объеме 106 страниц, содержит 30 рисунков, 39 таблиц, 59 формул.

Целью исследования является теоретическое обоснование параметров воздушно-ударных волн для прогноза их разрушительного воздействия на экосистемы.

Объектом исследования является процесс образования и распространения воздушно-ударных волн при взрывах традиционных и новых смесевых взрывчатых веществ и их влияние на экосистемы.

Предметом исследования являются параметры воздушно-ударных волн при взрывах традиционных и новых смесевых взрывчатых веществ и оценка степени повреждения техногенных систем и поражения живых организмов.

Методы исследования: системный анализ научно-технической литературы; метод математического моделирования и прогнозирования; метод математической статистики для аппроксимации данных и установление зависимостей; методы современных компьютерных технологий обработки

информации, в частности, пакет прикладных программ MS Excel и Mathcad; графикой-аналитический анализ.

Проведенный анализ особенностей возникновения, распространения и последствий действия воздушно-ударных волн. Установлены закономерности изменения параметров воздушно-ударных волн и математические зависимости избыточного давления, скоростного напора, удельного импульса и времени действия положительной фазы волны позволяют делать прогнозную оценку разрушающего действия воздушно-ударных волн на экосистемы.

Полученные результаты исследования необходимо учитывать при проведении буровзрывных работ для снижения разрушительного воздействия на экосистемы.

**Ключевые слова:** воздушно-ударные волны, экосистемы, взрыв, взрывчатые вещества, избыточное давление, удельный импульс, тротилловый эквивалент, распространения взрывной волны, разрушительное действие.

## ABSTRACT

Kanar Maryna «Influence of air shock waves on ecosystems» - Manuscript

The master thesis consists of an introduction, 4 chapters, and conclusion. It contains 106 pages, 30 drawings, 39 tables and 59 equations.

The aim of the research is a theoretical underpinning of parameters of air shock waves for the forecasting of their destructive impact on ecosystems.

The object of the research is a process of formation and distribution of air shock waves during the explosions of the traditional and new composition of explosives and their influence on ecosystems.

The subject of the research is the parameters of air shock waves during the explosions of the traditional and new composition of explosives and assessment of a damage rate of technogenic systems and effect to the organisms.

The methods of research are systems analysis of scientific and technical literature, the method of mathematical simulation and prediction, the method of mathematical statistics for data approximation and establishment of relationships, the methods of the modern computer technologies of information processing, such as package of application programs MS Excel and Mathcad, also the graphical and analytical analysis.

The carried-out analysis of features of formation, distribution, and the consequences of air shock waves effect. The mechanism of parameter variations of air shock waves and mathematical relationships of excessive pressure is determined, a velocity head, a specific impulse and the time of a positive phase of the wave action can esteem the projection of the destroying action of air shock waves on ecosystems.

The received results of the research should be considered during the drilling-and-blasting works for decreasing the destructive impact on ecosystems.

**Keywords:** air shock waves, ecosystems, explosion, explosives, excessive pressure, specific impulse, trinitrotoluol equivalent, distribution of a blast wave, destructive action.