І.В. Телевний¹, В.І. Нікітченко¹, С.І. Ключас², А.Г. Дмитрієв³

¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів

²Товариство з обмеженою відповідальністю “Авікос”, Львів

³Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ БОЄПРИПАСІВ З ТЕРМОБАРИЧНИМИ ВИБУХОВИМИ РЕЧОВИНАМИ

В статті акцентовано увагу на особливості досліджень боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами. Запропоновано порядок проведення досліджень характеристик боєприпасів, групування оцінок на основі специфіки їх отримання та порядок оцінювання характеристик боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами виходячи з їх фізичних особливостей фактору ураження.

Ключові слова: дослідження боєприпасів, оцінка характеристик, уражаючі фактори, термобаричні вибухові речовини.

Вступ

Постановка проблеми. Однією з основних характеристик будь-яких боєприпасів, що безпосередньо впливають на бойові характеристики, є тип бойової частини і тип вибухової речовини, яка застосовується в бойовій частині. Характеристики бойової частини і вибухових речовин є взаємозалежними величинами.

Основним призначенням боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами є нанесення максимальних збитків за рахунок впливу ударної хвилі зі значним надлишковим тиском у фронті ударної хвилі та високої температури, що утворюється в процесі вибуху.

Проведення достовірної оцінки характеристик (в тому числі і уражаючих факторів) боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами є актуальним завданням при проведенні досліджень боєприпасів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [1] розглянуті особливості уражаючих факторів боєприпасів в залежності від хімічної компоновки (рецептури) термобаричних вибухових речовин. В [2] проаналізовано особливості функціонування боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами та визначено основні уражаючі фактори вищевказаних боєприпасів. Історія розвитку об'ємно-детонуючих та термобаричних боєприпасів подана в [3]. Функціонування обладнання для виміру параметрів фронту ударної хвилі, яке випускається зарубіжними фірмами, розглянуте в [8–9].

Але на теперішній час існують різні підходи до порядку проведення досліджень боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами.

Мета статті. В статті запропоновано порядок оцінювання характеристик боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами виходячи з їх фізичних особливостей фактору ураження.

Виклад основного матеріалу

З метою спрощення отримання характеристик боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами їх доцільно розділити на групи в залежності від способу їх отримання, а саме:

– загальні оцінки – це група оцінок щодо застосування сировини, матеріалів і комплектуючих елементів, виконання техніко-економічних вимог, відповідності вимогам щодо стандартизації та уніфікації, відповідності вимогам до ергономіки та технічної естетики, тощо;

– оцінки які можливо отримати в лабораторних умовах – це група оцінок щодо міцності та безпеки речовин та дослідних зразків (кліматичні та механічні оцінки) тощо;

– оцінки які можливо отримати при проведенні натурних експериментів – це група оцінок для отримання яких експерименти доцільно проводити в полігонних умовах з використання реальних дослідних зразків.

Вищевказаний порядок отримання характеристик боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами дозволяє спростити та упорядкувати оцінки технічних, експлуатаційних та бойових характеристик боєприпасів та вибухових речовин.

Нижче наведено основні особливості проведення досліджень боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами.

Для оцінки загальних характеристик щодо застосування сировини, матеріалів і комплектуючих

елементів, виконання техніко-економічних вимог, відповідності вимогам щодо стандартизації та уніфікації, відповідності вимогам до ергономіки та технічної естетики тощо доцільно використовувати нормативну базу, яка застосовується для оцінки боеприпасів та бризантних вибухових речовин.

Визначення показника безвідмовної роботи дослідних зразків з термобаричними вибуховими речовинами потребує значної кількості експериментальних даних. Тому для контролю показника ймовірності безвідмовного спрацювання дослідних зразків у заданих умовах експлуатації доцільно застосувати експериментальний метод з наступними вихідними даними: ймовірність безвідмовної роботи 0,95, довірчий інтервал не менше 0,5. Оцінка кількісних показників надійності у процесі дослідження проводиться одноступеневим методом з обмеженою кількістю відмов.

Вищевказаний порядок дозволить мінімізувати кількість дослідних зразків з одночасним забезпеченням заданої достовірності отриманих результатів. Статистичні дані показника ймовірності безвідмовного спрацювання дослідних зразків доцільно отримати під час штатної (підконтрольної) експлуатації.

Лабораторні експерименти.

В лабораторних умовах проводиться підтвердження в основному стійкості боеприпасів з термобаричними вибуховими речовинами до зовнішніх кліматичних та механічних чинників [4].

Оцінку стійкості дослідних зразків до дії зниженої та підвищеної температури середовища проводять у спеціальних камерах холоду та тепла. З метою отримання коректних результатів експериментів дослідний зразок в залежності від маси термобаричної вибухової речовини доцільно попередньо витримати в камерах деякий час і тільки після цього проводити експеримент з відповідною фіксацією параметрів.

При цьому час від моменту виймання дослідних зразків з камери тепла (холоду) до початку проведення експериментів з фіксацією результатів не повинний перебільшувати 30 хвилин.

Особливостями перевірки стійкості дослідних зразків до дії різких змін температури є врахування впливу трьох температурних циклів, що безперервно слідує один за одним. Кожний цикл необхідно проводити в наступній послідовності. Розміщують дослідний зразок у камеру холоду з температурою мінус 50 °C та витримують при даній температурі 2 години. Потім переміщують дослідний зразок у камеру тепла з температурою 50 °C та витримують при цій температурі на протязі 2 годин. По вичерпанні часу витримки у камері тепла, цикл повторюють. Час переносу дослідного зразка з камери в камеру не повинно перевищувати 5 хвилин. По за-

кінченню останнього циклу виймають дослідні зразки з камери тепла і витримують в нормальних умовах протягом 3 годин та перевіряють стан дослідних зразків. Характеристики зовнішніх факторів, на стійкість до яких здійснюється перевірка дослідних зразків з термобаричними вибуховими речовинами наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики зовнішніх факторів впливу

Фактор впливу	Характеристика фактору впливу	Код	Значення фактору впливу
Механічний удар поодинокі дії	Пікове ударне прискорення, м/с ² (g)	1211	150(15)
	Час дії ударного прискорення, мс	1212	15
Лінійне прискорення	Величина прискорення, м/с ² (g)	1311	150(15)
Атмосферний знижений тиск	Робочий тиск, кПа (мм рт. ст.)	2121	46,7 (350)
Підвищена температура середи	Робоча, °C	2211	50
	Робоча короткочасна, °C	2211	60
	Гранична, °C	2213	70
Знижена температура середи	Робоча, °C	2221	Мінус 40
	Гранична, °C	2223	Мінус 50
Підвищена вологість повітря	Відносна вологість при температурі 35 °C, %	2311	100
Атмосферні опади (дош)	Інтенсивність атмосферних опадів, мм/год	2411	40
Атмосферні конденсовані опади (роса і внутрішнє обledenіння)	Знижена температура середи, °C	2220	Мінус 20
	Атмосферний знижений тиск, кПа (мм рт. ст.)	2120	22,67 (170)
	Відносна вологість при температурі 28 °C, %, не менше	2311	93
Динамічний пил (пісок)	Відносна вологість, %	2311	50
	Швидкість циркуляції, м/с	2524	10-15
	Концентрація, г/м ³	2521	40

Також дослідні зразки повинні бути стійкими і міцними до дії випадкової ширококутової вібрації, характеристики якої наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики випадкової ширококутової вібрації (підйом/спад рівнів – 3дБ/окт)

Діапазон частот, Гц	Сумарне середньоквадратичне прискорення, м/с ² (g)	Спектральна щільність, г ² /Гц
10-50	45 (4,5)	0,002-0,010
50-2000	45 (4,5)	0,010
10-50	32 (3,2)	0,020
50-2000	32 (3,2)	0,005

Особливістю перевірки стійкості дослідних зразків до дії атмосферних явищ є проведення рівномірного зрошення водою почергово, або одночасно з чотирьох боків та верхнім струменем під кутом (40 – 45)° з інтенсивністю дощу 50 мм/г на протязі 2

годин. Після проведення перевірок дослідний зразок повинен бути працездатним.

Під час перевірки стійкості боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами до дії зниженого атмосферного тиску доцільно дослідні зразки витримати в термобарокамерах на протязі 1 години при умові пониженого тиску у камері до 12 кПа (90 мм.рт.ст.). При цьому повинні бути відсутні вм'ятини, сколи, тріщини, а сам зразок бути у працездатному стані. Перевірка стійкості боєприпасів при транспортуванні проводиться в укладально-транспортних ящиках автомобільним транспортом по ґрунтових дорогах зі швидкістю до 30 км/год на відстань до 500 км та по шосейних дорогах зі швидкістю до 60 км/год на відстань до 5000 км, залізничним та водним транспортом без обмеження швидкості та відстані, авіаційним транспортом до висоти 12000 метрів без обмеження швидкості та відстані.

Оцінка міцності дослідних зразків при транспортуванні може проводитися на приладі імітації транспортування трясінням. При цьому висота падіння повинна бути (80 ± 2) мм, частота падіння – 60 разів в одну хвилину. Навантаження, що впливають на дослідні зразки при імітації транспортування, не повинні викликати запалювання та детонацію термобаричних вибухових речовин.

Відповідність боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами вимогам щодо зберігання проводяться методом прискорених випробувань при дії кліматичних факторів з подальшою перевіркою працездатності виробів. Дослідженням підлягають дослідні зразки в пакуванні виробника (в одному або у двох ящиках). Умови проведення випробувань виробів при прискореному методі оцінки зберігуваності, які еквівалентні одному року зберігання в умовах закритого приміщення, що не опалюється, наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Умови проведення випробувань
при прискореному методі

Вид фактору, що діє	Характеристика фактору, що діє	Тривалість дії, годин
Понижена температура	Температура мінус 40 °С	6
Підвищена температура	Температура плюс 50 °С	6

Порядок проведення прискорених випробувань може бут наступним:

а) при дії пониженої температури:

– упаковані дослідні зразки поміщують в кліматермокамеру;

– знижують температуру до мінус (-40 ± 2) °С і витримують її протягом часу, наведеного в табл. 3;

б) при дії підвищеної температури:

– упаковані дослідні зразки поміщують в кліматермокамеру;

– підвищують температуру до плюс (50 ± 2) °С і витримують її протягом часу, наведеного в табл. 3.

Після закінчення циклу випробувань, що імітує умови зберігання виробів за 1 рік, упаковані вироби піддають ще дев'яти циклам випробувань у відповідності до табл. 4.

Після закінчення дії кожного з зовнішніх факторів, наведених в табл. 3, перед початком дії наступного зовнішнього фактора необхідно витримати упаковані дослідні зразки не менш ніж дві години в нормальних кліматичних умовах.

Після закінчення прискорених випробувань дослідні зразки виймають з пакування і перевіряють на наявність видимих пошкоджень, перевіряють стан лакофарбового покриття і стан маркування та якості функціонування за призначенням.

Натурні експерименти в полігонних умовах.

Перевірка функціонування та практичної дії дослідних зразків з термобаричними вибуховими речовинами є завершальним етапом дослідження характеристик зразків.

Натурні експерименти необхідно організовувати з урахуванням специфіки уражаючої дії термобаричних вибухових речовин [5]. Основними фізичними особливостями є наступні.

При підриві розривного заряду в результаті протікання реакції вибухового перетворення за фронтом детонаційної хвилі утворюються газоподібні продукти, що містять горючі компоненти, які не прореагували, а частки металу термобаричної вибухової речовини прогріваються та починають вступати в реакцію з окисними компонентами продуктів детонації (CO_2 , H_2O).

Після виходу детонаційної хвилі на поверхню термобаричної вибухової речовини та руйнування корпусу боєприпасів газоподібні продукти починають поширюватися в повітрі, при цьому інтенсивно втрачаючи швидкість. Гарячі металеві частки, володіючи більшою інерцією, обганяють газоподібні продукти і потрапляють у повітря, де інтенсивність їх горіння суттєво зростає. Енергія, яка при цьому виділяється, йде на підтримку параметрів фронту ударної хвилі і формування протяжної високотемпературної області. Далі за рахунок розвитку турбулентної дифузії відбувається перемішування продуктів детонації з повітрям і догорання горючих компонентів, які не прореагували. Енергія яка при цьому виділяється приводить до збільшення тривалості фази стискання.

Даний фізичний процес вибуху приводить до підвищених параметрів термічного впливу та позитивної фази надлишкового тиску у фронті ударної хвилі в порівнянні з фугасними боєприпасами, спорядженими звичайними вибуховими речовинами.

Розглянута фізика вибуху боеприпасів з термобаричними вибуховими речовинами безпосередньо впливає і на організацію їх досліджень. Зокрема, на місце установки датчиків тиску у фронті ударної хвилі, датчиків швидкості фронту ударної хвилі, датчиків температури, формування мішеневої обстановки, правильний вибір різних коефіцієнтів (наприклад, впливу поверхні).

Результати уражаючої дії боеприпасів з термобаричними вибуховими речовинами на різні цілі необхідно оцінювати виходячи із двох уражаючих факторів вибуху: тиску та температури.

Фактор тиску оцінюється надлишковим тиском ΔP_m і питомим імпульсом фази стискання при надлишковому тиску (i_+) в ударній хвилі [2].

У випадку наявності зони стискання у фронті ударної хвилі характеристики ураження цілей носять квазістатичний характер (миттєва дія постійного тиску), а деформація цілей визначається максимальним надлишковим тиском. При короткій тривалості ударної хвилі реакція цілей на навантаження визначається питомим імпульсом фази стискання (імпульсне навантаження).

Вибір характеру навантаження при оцінці уражаючої дії пов'язаний зі співвідношенням тривалості фази стискання у хвилі τ і періоду власних коливань об'єкта T .

Якщо тривалість фази стискання $\tau \leq 0,25T$, то навантаження можна вважати імпульсним, а умова руйнування об'єкту запишеться у вигляді критерію по питомому імпульсу:

$$i_+ \geq i_+^{kp}. \quad (1)$$

При $0,25 \leq \tau \leq 10T$ навантаження стає квазістационарним і критерій руйнування виражають через надлишковий тиск:

$$\Delta P_m \geq \Delta P_m^{kp}. \quad (2)$$

Зазначені співвідношення називають частковими критеріями ураження в результаті дії вибухових хвиль боеприпасів з термобаричними вибуховими речовинами. При експериментальних дослідженнях боеприпасів велика увага приділяється вимірам надмірного тиску у фронті ударної хвилі і швидкості руху цього фронту, як головних чинників, що визначають ефективність їх застосування [6].

З рівнянь газової динаміки можна зробити висновок, що швидкість звукової хвилі для ідеального повітряного середовища залежить тільки від температури і розраховується [5–6]:

$$C = \sqrt{\gamma RT/M}, \quad (3)$$

де γ – показник адиабати в нормальних умовах, R – універсальна газова константа, T – абсолютна температура, M – молярна маса.

В умовах вибуху відбувається стрибок усіх параметрів вказаного рівняння, виникає ударний ім-

пульс, наслідками якого є різкий перепад тиску і швидкості переміщення звукової хвилі.

При детонації хімічна реакція поширюється по вибуховій речовині з надзвуковою швидкістю (3–13 км/с), викликаючи газодинамічне розширення з різким зростанням температури і ударну хвилю з надмірним тиском і надзвуковою швидкістю [11]. Поширення цієї хвилі через повітряне середовище йде з надзвуковою швидкістю, але значно меншою, ніж швидкість детонаційної хвилі, різко падаючи за енергетичними властивостями залежно від відстані від точки вибуху. Залежність надмірного тиску у фронті ударної хвилі від відстані до точки вибуху має кубічну залежність і описується емпіричною формулою Садовського [5]:

$$\Delta p = \frac{0,7q}{r^3} + 0,27 \left(\frac{0,7q}{r^3} \right)^{2/3} + 0,084 \left(\frac{0,7q}{r^3} \right)^{1/3}, \quad (4)$$

де Δp – надмірний тиск у фронті ударної хвилі, МПа, q – маса вибухової речовини, кг (тротилловий еквівалент), r – відстань до точки вибуху, м.

Величини надмірного тиску і швидкості руху фронту пов'язані співвідношенням:

$$\Delta p = \left(\frac{294,53}{273,15 - t} \right) (V^2 - C^2), \quad (5)$$

де t – температура зовнішнього повітря, C, V – швидкість руху фронту ударної хвилі, м/с, C – швидкість звуку, м/с.

Швидкість звуку, у свою чергу, зокрема, залежить від температури і вологості довкілля. Залежність швидкості звуку від температури і вологості розраховується за формулою:

$$C = 331,4 + 0,6t + 0,0124H, \quad (6)$$

де H – відносна вологість зовнішнього повітря, %.

З урахуванням умов проведення випробувань даною залежністю при проведенні розрахунків можна знехтувати. Таким чином, набір параметрів для вимірювання можна звести до вимірювання швидкості руху фронту ударної хвилі, при цьому провести уточнення місцевої швидкості звуку вимірюванням температури і вологості повітря. Швидкодія датчиків і засобів обробки даних, що поступають з них, визначається, виходячи зі швидкоплинності проходження фронту, пікове значення якого знаходиться на його початку, і передбачуваної відстані від датчика до точки вибуху, обраного з урахуванням кубічної залежності (4), виходячи з чутливості датчиків. Оскільки швидкість руху фронту, як правило, лежить в межах більше одного і менше чотирьох чисел M , датчик повинен устигати спрацьовувати приблизно за 700 мкс, а чутливість повинна дозволяти отримувати на обумовленій відстані до точки вибуху на виході максимально прямий передній фронт, оскільки пологий сигнал призводить до великих помилок у вимірах. Необхідно не забувати і

про те, що, надмірний тиск у фронті ударної хвилі послаблюється в кубічному ступені від відстані згідно (4) і коригувати результати, залежно від відстані між датчиками, якщо вимірювати швидкість по різниці в часі проходження імпульсу між датчиками. Так при перевірці площі суцільного ураження на відкритій місцевості доцільно на відстані 1 м в обидві боки від дослідного зразка розмістити градуйовані лінійки, на відстані 0,5 м та 1 м в різні боки – розмістити макети та вимірювальні прилади (на відстані 1 м датчик тиску типу 113B26, або датчик швидкості ударної хвилі типу ЦИС) [8–9]. Дослідні зразки повинні забезпечувати формування уражального фактору у вигляді підвищеної температури у центрі підриву не менше 1500°C. Фактор температури оцінюється розподілом температури від точки підриву до границі області та часу існування області. Для реєстрації результатів необхідно застосовувати високошвидкісні відеокамери та тепловізори. Для перевірки об'єму суцільного ураження у замкнутому приміщенні доцільно дослідний зразок розмістити у центрі дерев'яної споруди, ДЗОСу, тощо та додатково при реєстрації результатів необхідно провести оцінку ступеня руйнування споруд [10; 12]. Розрахунок тиску у фронті ударної хвилі проводиться шляхом зняття показників з вимірювача швидкості або датчика тиску, при використанні вимірювача швидкості, за формулами:

$$\Delta P_{\phi 1} = 1,0078 V_{\phi}^2 - 1,167 \times 10^5, \quad (7)$$

$$\Delta P_{\phi 2} = 1,025 \times (V_{\phi}^2 - 115797,28), \quad (8)$$

де ΔP_{ϕ} – тиск у фронті ударної хвилі, Па, V_{ϕ} – швидкість фронту ударної хвилі, м/с.

При використанні вимірювача швидкості фронту ударної хвилі V_{ϕ} розрахувати за формулою:

$$V_{\phi} = \frac{l}{t}, \quad (9)$$

де l – відстань між датчиками, м, t – час, що зареєстрований вимірювачем швидкості, с.

Необхідно провести усереднення даних які були отримані за формулами (1) та (2):

$$\Delta P_{\phi \text{ ср}} = (\Delta P_{\phi 1} + \Delta P_{\phi 2}) / 2, \quad (10)$$

Розрахунок площі ураження проведемо за формулою:

$$S_y = \pi \times R^2, \quad (11)$$

де S_y – площа ураження, м², $\pi = 3,14$, R – розмір високотемпературної області, м.

Значення показників надлишкового тиску та температури впливають на рівень ураження різних об'єктів, у тому числі особового складу супротивника. На даний момент одержання реальних критеріїв ураження дослідних зразків з термобаричними вибуховими речовинами досить складне через необхідність проведення спеціальних експериментів із залученням медичного забезпечення, тощо. Вищевказані особливості розглянуті для оцінки основних характеристик боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами для зразків масою до 1000 грамів та масою термобаричних вибухових речовин до 700 грамів. Дослідження інших характеристик вищевказаних боєприпасів доцільно проводити за аналогією з дослідженнями боєприпасів з бризантними вибуховими речовинами. На теперішній час проблемними питаннями дослідження боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами є визначення критичних мас, оцінки граничних термінів придатності, ефективності дії зразків на напіввідкритих місцевостях та осколкової дії вищевказаних боєприпасів, тощо.

Висновки

З метою мінімізації кількості дослідних зразків з одночасним забезпеченням заданої достовірності отриманих результатів при проведенні досліджень боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами доцільно всі характеристики розділити на групи в залежності від порядку їх отримання.

Для підтвердження бойових характеристик полігонний етап (натурні експерименти) досліджень боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами необхідно проводити на завершальному етапі отримання (підтвердження) характеристик боєприпасів. Отримання достовірних оцінок та характеристик при проведенні досліджень можливо тільки при наявності відповідної спеціальної лабораторної та полігонної баз. Розробка боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами вимагає попередніх (теоретичних та експериментальних) досліджень з урахуванням поставлених перед конкретними боєприпасами завдань. Розробка методик різних видів досліджень повинна проводитися з урахуванням особливостей боєприпасів з термобаричними вибуховими речовинами.

Список літератури

1. Lemi T. Thermobaric and enhanced blast explosives [Electronic resource] / T. Lemi // Defence Technology. – 2016. – № 12(6). – P. 423-445. – Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214914716300927>.
2. Особливості функціонування та розробки термобаричних боєприпасів / В.В. Брайко, О.І. Сподін, В.Г. Скляр, І.В. Телевний, Ю.О. Камак, В.І. Нікітченко // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – 2020. – № 2. – С. 37-46.

3. Аналіз розвитку та основні тенденції застосування термобаричних боеприпасів / В.В. Ларіонов, К.М. Хом'як, Р.В. Казмірчук, О.С. Івахів, М.О. Платонов, О.М. Стаднічук // Збірник наукових праць Національної академії Сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного. – 2016. – № 15. – С. 28-31.
4. Головин Г. Пироправка. Справочник по взрывчатым веществам, порохам и пиротехническим составам [Електронний ресурс] / Г. Головин. – М.: 2012. – 310 с. – Режим доступу: <https://docplayer.ru/25882729-Pirospravka-spravochnik-po-vzryvchatym-veshchestvam-poroham-i-pirotehnicheskim-sostavam.html>.
5. Белопухов Л.П. Ударные волны и детонация / Л.П. Белопухов. – М.: Квант, 2008. – 247 с.
6. Асланов С.К. К теории взрывных волн / С.К. Асланов // Физика горения и взрыва. – 2006. – № 4(42). – С. 93-99.
7. Офіційний сайт BUSINESSINSIDER.COM. There Are The Weapons That Russian Is Pouring Into Eastern Ukraine. – Режим доступу: <https://www.businessinsider.com/weapons-russia-is-pouring-into-east-ukraine-2015-1?r=UK>.
8. Patrick L.W. Air Blast and the Science of Dynamic Pressure Measurements [Electronic resource] / L.W. Patrick. – PCB Piezotronics. – 2016. – Available at: https://www.pcb.com/contentstore/MktgContent/LinkedDocuments/Technotes/TN-31-0714_Air_Blast_Lowres.pdf.
9. Офіційний сайт KISTLER.COM. Blast Pressure Measurements. – Режим доступу: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=352&model=download>.
10. Бабкин А.В. Средства поражения и боеприпасы / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, В.Ф. Грязнов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.
11. Аркашев А. Зажигательное и огнеметное оружие / А. Аркашев. – М.: Яуза, 2009. – 704 с.
12. Никулин Е.Н. / Средства ближнего боя. Ручные гранатометы // Е.Н. Никулин, Е.Н. Руссков, И.А. Семенов. – Санкт Петербург: СтудМед, 2007, – 139 с.

References

1. Lemi, T. (2016), Thermobaric and enhanced blast explosives, *Defence Technology*, No. 2(6), pp. 423-445, available at: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214914716300927.
2. Braiko, V.V., Spodin, O.I., Skliar, V.H., Televnyi, I.V., Kamak, Yu.O. and Nikitchenko, V.I. (2020), "Osoblyvosti funktsionuvannya ta rozrobky termobarychnykh boieprypasiv" [Features of operation and distribution of thermobaric munitions], *Collection of Scientific Works of the State Research Institute of Testing and Certification of Weapons and Military Equipment*, No. 2, pp. 37-46.
3. Larionov, V.V., Khom'iak, K.M., Kazmirschuk, R.V., Ivakhiv, O.S., Platonov, M.O. and Stadnichuk, O.M. (2016), "Analiz rozvytku ta osnovni tendentsii zastosuvannya termobarychnykh boieprypasiv" [Developmental analysis and main trends of thermobaric ammunition application], *Proceedings of the National Academy of Land Forces of Hetman P. Sahaidachny*, No. 15, pp. 28-31.
4. Golovin, G. (2012), "Pyrospravka. Spravochnik po vzryvchatym veshchestvam, porokham y pyrotekhnicheskym sostavam" [*Pirospravka. Explosives, Gunpowder and Pyrotechnic Compendium Handbook*], Moscow, 310 p., available at: www.docplayer.ru/25882729-Pirospravka-spravochnik-po-vzryvchatym-veshchestvam-poroham-i-pirotehnicheskim-sostavam.html.
5. Belopukhov, L.P. (2008), "Udarnye volny y detonatsiya" [*Shock waves and detonation*], Kvant, Moscow, 247 p.
6. Aslanov, S.K. (2006), "K teoryi vzryvnykh voln" [To the theory of blast waves], *Physics of Combustion and Explosion*, No. 4(42), pp. 93-99.
7. The official site of BUSINESSINSIDER.COM. (2015), *There Are The Weapons That Russian Is Pouring Into Eastern Ukraine*, available at: www.businessinsider.com/weapons-russia-is-pouring-into-east-ukraine-2015-1?r=UK.
8. Patrick, L.W. (2016), *Air Blast and the Science of Dynamic Pressure Measurements*, PCB Piezotronics, available at: www.pcb.com/contentstore/MktgContent/LinkedDocuments/Technotes/TN-31-0714_Air_Blast_Lowres.pdf.
9. The official site of KISTLER.COM. (2017), *Blast Pressure Measurements*, available at: www.kistler.com/?type=669&fid=352&model=download.
10. Babkin, A.V., Veldanov, V.A. and Hriaznov, V. (2008), "Sredstva porazheniya y boieprypasy" [*Means of destruction and ammunition*], MHTU im. N.E. Bauman, Moscow, 984 p.
11. Arkashev, A. (2009), "Zazhyhatelnoe y ohnemetnoe oruzhye" [*Incendiary and flamethrower weapons*], Yauza, Moscow, 704 p.
12. Nykulyn, E.N., Russkov, E.N. and Semenov, Y.A. (2007), "Sredstva blyzhneho boia. Ruchnye hranatomety" [*Melee weapons. Hand grenade launchers*], StudMed, Saint Petersburg, 139 p.

Надійшла до редколегії 03.02.2020

Схвалена до друку 10.03.2020

Відомості про авторів:

Телевний Ігор Володимирович

заступник начальника Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки з випробувань, Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0761-3013>

Information about the authors:

Igor Televniy

Deputy Chief of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (on Research), Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0761-3013>

Нікітченко Віктор Іванович

кандидат технічних наук
начальник науково-дослідного відділу
Державного науково-дослідного інституту випробувань
і сертифікації озброєння та військової техніки,
Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8973-8711>

Клюфас Степан Іванович

директор товариства з обмеженою відповідальністю
“Авікос”[™], Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9239-2755>

Дмитрієв Андрій Геннадійович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8710-5598>

Viktor Nikitcnenko

Candidate of Technical Sciences
Chief of the Scientific Research Department
of State Scientific Research Institute of Armament
and Military Equipment Testing and Certification,
Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8973-8711>

Stepan Klyufas

Director of “Avikos” Ltd.
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9239-2755>

Andrii Dmytriiev

Candidate of Technical Sciences
Senior Research
Head of the Scientific Research Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8710-5598>

**ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ БОЕПРИПАСОВ С ТЕРМОБАРИЧЕСКИМИ
ВЗРЫВЧАТЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ**

И.В. Телевний, В.И. Никитченко, С.И. Клюфас, А.Г. Дмитриев

В статье акцентировано внимание на особенности исследования боеприпасов с термобарическими взрывчатыми веществами. Предложен порядок оценивания характеристик боеприпасов с термобарическими взрывчатыми веществами исходя с их физических особенностей поражающих факторов. При исследовании характеристик боеприпасов их целесообразно разделить на несколько групп, в зависимости от способа получения характеристик. При проведении всех оценок целесообразно проводить контроль безотказности срабатывания опытных образцов. Оценку безотказности срабатывания опытных образцов предложено производить экспериментальным методом со следующими входными параметрами: вероятность безотказной работы 0,95 с доверительным интервалом не менее 0,5. Оценку количественных показателей надежности в процессе исследований производить одноступенчатым методом с ограниченным количеством отказов. Данный порядок позволит минимизировать количество опытных образцов с одновременным обеспечением заданной достоверности полученных результатов. В лабораторных условиях проводится подтверждение в основном стойкости боеприпасов с термобарическими взрывчатыми веществами к внешнему климатическому и механическому воздействию. Проверка функционирования и практического действия опытных образцов боеприпасов с термобарическими взрывчатыми веществами есть завершающим этапом исследования характеристик. Натурные эксперименты необходимо организовывать с учетом специфики поражающего действия боеприпасов с термобарическими взрывчатыми веществами. Результаты поражающего действия на разные цели необходимо оценивать исходя с соотношения двух поражающих факторов взрыва термобарических смесей (давления и температуры). Разработка боеприпасов с термобарическими взрывчатыми веществами требует предварительных теоретических и экспериментальных исследований с учетом поставленных перед конкретным боеприпасом задач. Разработка методик разных видов исследований должна проводиться с учетом особенностей боеприпасов с термобарическими взрывчатыми веществами.

Ключевые слова: исследование боеприпасов, оценка характеристик, поражающие факторы, термобарические взрывчатые вещества.

FEATURES OF RESEARCH OF LIVE AMMUNITIONS WITH THERMOBARIC EXPLOSIVES

I. Televniy, V. Nikitcnenko, S. Klyufas, A. Dmytriiev

In the article attention is accented on the feature of research of live ammunitions with thermobaric explosives. The methodical going is offered near the estimation of descriptions of live ammunitions with thermobaric explosives coming from their physical features of striking factors. At researches of descriptions of live ammunitions of them it is expedient to divide into a few groups, depending on the method of receipt of descriptions. During realization of all estimations it is expedient to conduct control of faultlessness of wearing-out of pre-production models. The estimation of faultlessness of wearing-out of pre-production models it is suggested to produce an experimental method with next entry parameters: probability of faultless work 0,95 with a confidence interval no less than 0,5. Estimation of quantitative reliability indexes in the process of researches to produce a single-stage method with the limited amount of refuses. This order will allow to minimize the amount of pre-production models with the simultaneous providing of the set authenticity of the got results. In laboratory terms confirmation mainly of firmness of live ammunitions is conducted with thermobaric explosives to external climatic and mechanical influence. Verification of functioning and practical action of pre-production models of live ammunitions with thermobaric explosives is the finishing stage of research of descriptions. Model experiments must be organized taking into account a specific striking action of live ammunitions with thermobaric explosives. Results of the striking operating on different aims it is necessary to estimate coming from correlation of two striking factors of explosion of thermobaric mixtures (pressures and temperatures). Development of live ammunitions with thermobaric explosives requires preliminary theoretical and experimental researches taking into account the tasks put before concrete ammunition. Development of methodologies of different types of researches must conducted taking into account the features of live ammunitions with thermobaric explosives.

Keywords: research of live ammunitions, estimation of descriptions, striking factors, thermobaric explosives.