

УДК 623.451

ТАРАНЕНКО В.В., начальник науково-дослідного відділу, кандидат технічних наук
ВОДЧИЦЬ О.Г., декан факультету підготовки офіцерів запасу Національного авіаційного університету, кандидат технічних наук, доцент
ЄГОРОВ С.Н., завідувач кафедри Національного авіаційного університету, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
ПАВІЛЬЧ В.М., професор кафедри Національного авіаційного університету, кандидат технічних наук, доцент

ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ З ТЕРМОБАРИЧНИМИ КОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ УРАЖЕННЯ УКРІПЛЕНИХ НАЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

В статті обґрунтована можливість застосування термобаричних компонентів в бойових частинах авіаційних засобів ураження при дії по укріплених наземних цілях та наведена оперативна методика оцінки ефективності їх дії.

Ключові слова: авіаційний засіб ураження, бойова частина, укріплена наземна ціль, оцінка ефективності.

На сьогоднішній день за результатами воєнних конфліктів останніх десятиліть всі об'єкти дії авіаційних засобів ураження можна розподілити на такі типи [1]:

стаціонарні та сильно укріплені: підземні бункери, укріплені споруди, мости;
стаціонарні: будівлі, промислові підприємства, дороги;
броньовані мобільні: танки, броньовані машини, артилерія;
мобільні: автомобілі;
об'єкти радіолокаційних станцій.

Для ураження таких об'єктів, як правило, застосовують різні типи авіаційних керованих ракет та бомб. При цьому, особливу увагу приділяють створенню нових високоефективних засобів для ураження стаціонарних укріплених (заглиблених) об'єктів.

Одним із перспективних напрямків при створенні таких засобів ураження є розробка бойових частин з високою уражаючою здатністю на основі нових високоенергетичних вибухових речовин і конструкційних матеріалів, що підвищують енергію вибуху основного заряду в 3...4 рази.

За результатами аналізу напрямків розвитку засобів ураження у світі визначено, що одним із напрямків є створення засобів ураження з бойовими частинами, до складу яких входять термобаричні компоненти (ТБК).

Такі основні фактори ураження, як ударна хвиля і високотемпературна область вибуху, роблять ці засоби ураження високоефективними при дії по широкому класу об'єктів і, особливо, при їх спрацюванні в замкненому просторі.

Авіаційні засоби ураження з ТБК відносяться до однотактних засобів

ураження об'ємно-детонуючого вибуху [2, 3, 4].

До їх складу входить єдиний потужний заряд вибухової речовини (ВР) з детонатором (підривачем), який забезпечує перетворення термобаричної речовини в дисперсійну аерозольну хмару та її детонацію, а процес утворення аерозольної хмари та її детонація є єдиним і нероздільним. Внаслідок того, що в засобах ураження з ТБК для протікання процесу окислення ВР та її детонації використовується кисень повітря (в порівнянні з ВР з окислювачем – тротил, гексоген та ін.), вони значно менші за масою при однакових тротилових еквівалентах (ТЕ). При цьому, відносний ТЕ при їх спрацюванні складає 2,5...3,5 [3].

Умовою переходу енергії окислення в ударну повітряну хвилю є

$$t \leq \frac{D}{a}, \quad (1)$$

де t – час переходу енергії аерозольної хмари в ударну повітряну хвилю, с; D – розмір (діаметр) аерозольної хмари, м; a – швидкість звуку в навколишньому середовищі, м/с.

За своєю принциповою схемою засоби ураження з ТБК можуть бути двох типів:

в контейнері зі зрідженим паливом розташований інший контейнер, в якому розміщена піротехнічна суміш (порошкоподібний алюміній або магній), при цьому навколо контейнеру з паливом розташований заряд ВР з детонатором (підривачем);

інша схема включає в себе контейнер з ТБК, заряд ВР і підривач. Суміші ТБК, що використовуються в таких засобах ураження, мають підвищену стійкість до зовнішніх навантажень, що дозволяє використовувати їх у засобах ураження проникаючого типу. Для спорядження бойових частин з ТБК можуть бути використані суміші порошкоподібних металів (алюмінію, магнію, бору) [8], а також пастоподібні суміші на основі рідкого палива зі знизеним балансом кисню (ізопропілнітрат – $C_3H_7NO_3$). В це паливо додають порошки гексогену з алюмінієм та магнієм.

В загальному випадку усі вибухові речовини, що мають у своєму складі в певній пропорції порошкоподібні метали (алюміній, магній, бор, титан, нікель та ін.), можуть бути віднесені до термобаричних ВР.

Для балансу кисню і збільшення потужності вибуху в суміші додають хімічні речовини типу хлорнафталіну. Ці речовини при різних пропорціях діють як флегматизатори (знижують чутливість ВР) або збільшують фугасність вибуху, і, відповідно, збільшують ТЕ. Для забезпечення детонації цих сумішей, на відміну від інших ВР, потрібен більший розривний заряд.

При детонації заряду ВР формується повітряна ударна хвиля, яка перетворює ТБК в дисперсійну аерозольну хмару. За фронтом ударної хвилі газоподібні продукти вибуху мають температуру, яка достатня для підпалювання частин порошкоподібного металу. Гарячі металеві частини утворюють фронт горіння, який слідує за фронтом ударної хвилі зі швидкістю детонації. Ця швидкість, в залежності від складу ВР ТБК, може бути в межах 3000...5000 м/с. Для порівняння у звичайних ВР швидкість детонації знаходиться в межах 6000...8000 м/с.

Зниження швидкості детонації відбувається через наявність в сумішах ТБК флегматизаторів і металевих порошоків.

Енергія, яка виділяється при горінні порошкоподібних металів, підживлює фронт повітряної ударної хвилі і формує високотемпературну область з підвищеною термічною дією. Через це збільшується час термічної дії і дії повітряної ударної хвилі на об'єкти ураження.

Таким чином, на об'єкти ураження діє повітряна ударна хвиля у вигляді надлишкового тиску DP_1 та високотемпературна термобарична область (термічна дія).

Якщо розглядати повітряну ударну хвилю як стрибок ущільнення, то в залежності від форми заряду опір повітря стрибка ущільнення може знаходитись в межах від 2,0 (пласка ударна хвиля) до 0,8 (сферична ударна хвиля) [6].

Величина зменшення надлишкового тиску DP_1 підпорядкована експоненціальному закону. Характер процесу зменшення залежить від форми та маси заряду.

Знаючи коефіцієнт опору, інтенсивність зниження величини DP_1 у разі вибуху в замкненому просторі можна описати формулою для згасаючих коливань [7]

$$DP_1 = DP_{01} \exp(-Ct/2m), \quad (2)$$

де DP_{01} – початковий тиск в ударній хвилі; C – коефіцієнт опору; m – маса продуктів детонації в повному напрямку руху повітряної ударної хвилі; t – час.

Оцінимо ефективність дії проникаючого засобу ураження з ТБК за критеріями надлишкового тиску DP_1 і температурної дії по промисловому об'єкту за умови вибуху засобу ураження в замкненому просторі.

Прийmemo такі вихідні дані: засіб ураження проникаючого типу; маса ВР з ТБК складає 40 кг. Розрахунки будемо проводити при тротиловому еквіваленті ВР відповідно $TE_1=1,5$; $TE_2=2,0$; $TE_3=2,5$.

Процес формування ударної хвилі сферичного заряду в замкненому просторі схематично наведений на рис. 1.

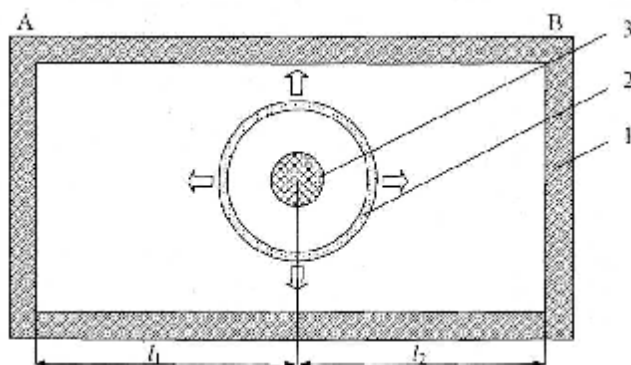


Рис.1. Процес формування ударної хвилі: 1 – стіна будівлі; 2 – ударна хвиля; 3 – заряд ВР; А, В – стіни будівлі, від яких відбивається ударна хвиля.

Для спрощення розрахунків прийmemo припущення, що засіб ураження спрацював всередині будівлі на відстанях $l_1 = l_2 = 20$ м.

При таких умовах вибуху величина надлишкового тиску DP_1 , що визначається за формулою Садовського [5], має збільшені коефіцієнти.

При цьому енергія вибуху розповсюджується в об'ємі замкнутого простору, тому параметри ударної хвилі еквівалентні наземному вибуху з подвійним зарядом. Також при зустрічі зі стінкою будівлі (А або В) відбувається різке гальмування маси повітря, що рухається разом з ударною хвилею. Тому, крім статичної складової тиску DP_1 , на перешкоду буде діяти додатковий тиск, який обумовлений швидкісним натиском повітря (динамічна складова) [5].

Враховуючи наведене, статичну складову надлишкового тиску можна представити у вигляді

$$DP_1 = 2,14 \frac{\sqrt[3]{w}}{R} + 8,4 \frac{\sqrt[3]{w^2}}{R^2} + \frac{28w}{R^3}, \quad (3)$$

де w – маса вибухової речовини; R – відстань від центру вибуху.

Врахування динамічної складової можна здійснити за формулою Ізмайлова [5]

$$DP_2 = 2DP_1 + \frac{6(DP_1)^2}{7 + DP_1}. \quad (4)$$

Для сильних ударних хвиль ($DP_1 \gg 100$ кПа) максимальне значення $DP_2 = 8DP_1$, а для слабких ударних хвиль ($DP_1 \ll 100$ кПа) надлишковий тиск $DP_2 = 2DP_1$.

У разі вибуху в замкнутому просторі початкова ударна хвиля через відстань l_1 відбивається від стіни А, а через відстань $l_1 + l_2$ відбивається від стіни В, знову відбивається, доки DP_1 не стає близьким до нуля. Тобто спостерігається по чергове відбивання ударної хвилі від стін А і В з послідовним затуханням процесу коливань.

Результати розрахунків з урахуванням статичної складової надлишкового тиску DP_1 наведені на рис. 2, а з урахуванням динамічної складової за формулою Ізмайлова – на рис. 3.

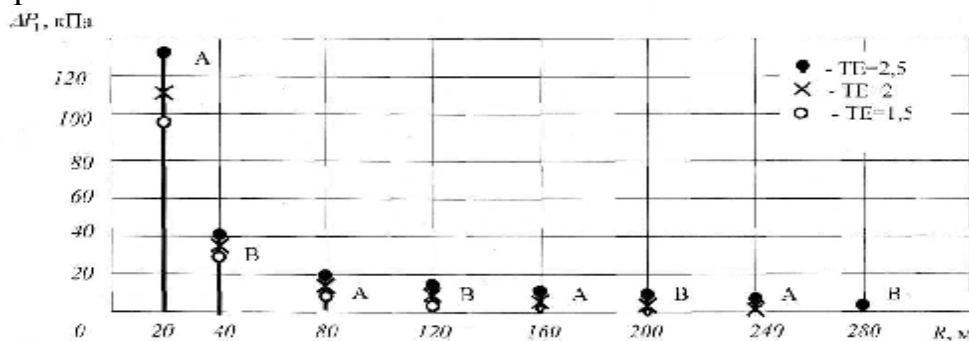


Рис.2. Величина статичної складової надлишкового тиску ударної хвилі DP_1 при зустрічі з перешкодою (А – ліва стінка будівлі, В – права стінка будівлі)

З урахуванням статичної та динамічної складових при заданих еквівалентах ВР можна зробити висновок про те, що початкова ударна хвиля при зустрічі з перешкодою може мати надлишковий тиск до 1000 кПа. Такого надлишкового тиску достатньо для сильного ураження укріплених об'єктів (підземних сховищ, залізобетонного укриття літаків) [3].

Іншим основним фактором ураження є дія високотемпературної термобаричної області на об'єкт ураження.

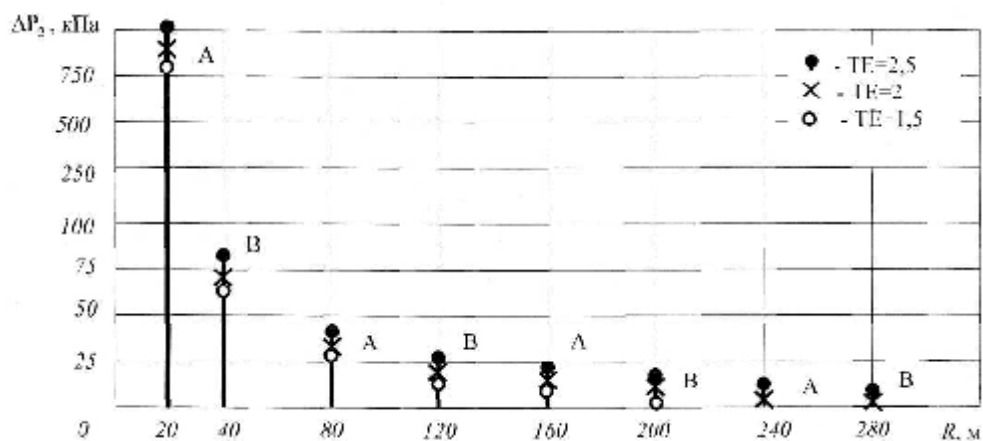


Рис.3. Величина надлишкового тиску на перешкоди А і В з урахуванням динамічної складової ΔP_2

Розрахуємо час дії ударної хвилі на стіни А і В. З цією метою використаємо вираз, який отримав Садовський для тротилу. Врахування умови вибуху в замкненому просторі збільшує коефіцієнт в формулі в два рази [5]

$$t = 2,52 \cdot 10^{-3} \sqrt[6]{w} \cdot \sqrt{R}, \quad (5)$$

де t – час дії ударної хвилі на перешкоду; R – відстань від точки вибуху.

Результати розрахунку часу дії ударної хвилі при тротильових еквівалентах $TE=1,5$; $TE=2$; $TE=2,5$ наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Розрахунковий час дії ударної хвилі (t , с) у разі вибуху бойової частини при різних тротильових еквівалентах

R, м	20	40	80	120	160	200	240	280
TE, кг								
60	$22,2 \cdot 10^{-3}$	$31,5 \cdot 10^{-3}$	$44,5 \cdot 10^{-3}$	$54,5 \cdot 10^{-3}$	$62,9 \cdot 10^{-3}$	-	-	-
80	$23,4 \cdot 10^{-3}$	$33,1 \cdot 10^{-3}$	$46,7 \cdot 10^{-3}$	$57,4 \cdot 10^{-3}$	$66,3 \cdot 10^{-3}$	$74,4 \cdot 10^{-3}$	$81,2 \cdot 10^{-3}$	$87,1 \cdot 10^{-3}$
100	$24,2 \cdot 10^{-3}$	$34,3 \cdot 10^{-3}$	$48,5 \cdot 10^{-3}$	$59,4 \cdot 10^{-3}$	$68,6 \cdot 10^{-3}$	$76,6 \cdot 10^{-3}$	$83,9 \cdot 10^{-3}$	$90,7 \cdot 10^{-3}$

Враховуючи те, що фронт ударної хвилі несе високотемпературну область, час дії цієї області від моменту виникнення в початковій хвилі надлишкового тиску DP_1 до моменту, коли DP_1 буде близьким до нуля, дорівнює часу коливань ударної хвилі між стінами А і В, а саме

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (6)$$

де n – кількість коливань ударної хвилі між стінами.

Цей час дорівнює: для $TE=1,5$ $t_{\Sigma}=0,22$ с; для $TE=2$ $t_{\Sigma}=0,47$ с, для $TE=2,5$ $t_{\Sigma}=0,49$ с.

Формула (5) може бути використана тільки для засобів ураження зі звичайними ВР (тротил, гексоген та ін.), у яких швидкість детонації дорівнює 6000...8000 м/с.

Термобаричні ВР мають меншу швидкість детонації, яка дорівнює 3000...5000 м/с, тому час дії високотемпературної області буде більшим. Врахуємо це коефіцієнтом зменшення швидкості детонації

$$K = \frac{D_{BP}}{D_{ТБК}}, \quad (7)$$

де $D_{ТБК}$ – швидкість детонації ВР з ТБК; D_{BP} – швидкість детонації звичайної ВР.

Для проведення розрахунків приймемо такі середні значення швидкостей детонації: $D_{ТБК} \approx 4000$ м/с; $D_{BP} \approx 7000$ м/с. При цих значеннях коефіцієнт зменшення швидкості детонації дорівнює $K = 1,75$, а час дії високотемпературної області на стіни А і В буде дорівнювати відповідно: для $TE=1,5$ $t_{\Sigma} = 0,38$ с; для $TE=2$ $t_{\Sigma} = 0,82$ с, для $TE=2,5$ $t_{\Sigma} = 0,85$ с.

Температуру вибуху T_e можна розрахувати, користуючись формулою для визначення теплоти вибуху [5]

$$T_e = \frac{Q}{C}, \quad (8)$$

де Q – теплота вибуху; C – середня тепломісткість продуктів вибуху при їх постійному об'ємі.

Враховуючи те, що ВР з ТБК можна віднести до класу пірогелей (тротил + металевий порошок + флегматизатори) з відомою температурою горіння та за даними, наведеними в [8, 9], можна стверджувати, що температурна термобарична область на фронті ударної хвилі становитиме не менше $1500...2000^0$ С.

Таким чином, на основі вище наведеного можна зробити такі висновки:

основна енергія надлишкового тиску засобу ураження з ТБК зосереджена в початковій ударній хвилі, значення якої дозволяє ефективно уражати укріплені об'єкти;

при спрацюванні засобу ураження у замкненому просторі ударна хвиля, відбиваючись почергово від перешкод, представляє собою коливальний процес, затухання якого залежить від опору середовища і періоду коливань ударної хвилі;

величина тротилового еквіваленту в засобах ураження з ТБК при їх спрацюванні у замкненому просторі несуттєво впливає на енергію ударної хвилі і час її коливання;

температурна термобарична область може мати температуру до $1500...2000^0$ С;

наведена оперативна методика дозволяє наближено оцінити ефективність дії засобів ураження із ТБК при дії по укріпленим (заглибленим) наземним цілям.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мясников Е.В. Высокоточное оружие и стратегический баланс. – Долгопрудный: МФТИ, 2000. – 43 с.
2. Балаганский И.А. Мержиевский Л.А. Действия средств поражения и боеприпасов. – Новосибирск: НГТУ, 2004. – 406 с.

3. Средства поражения и боеприпасы/ Под ред. В.В.Селиванова. – М.: МГТУ им. Баумана, 2008. – 984 с.
4. Водчиць О.Г., Єгоров С.Н., Павільч В.М. Метод оцінювання ефективності вибухових пристроїв об'ємно-детонуючої дії// Збірник наукових праць Академії ВВ МВС України. – №1, 2011. – с. 98 – 101.
5. Дорофеев А.Н., Морозов А.П., Саркисян Р.С. Авиационные боеприпасы. – М.: ВВИА им. Н.Е.Жуковского, 1987. – 445 с.
6. Лунев В.В. Гиперзвуковая аэродинамика. – М.: Машиностроение, 1975. – 326 с.
7. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1 – М: Наука, 1982. – 496 с.
8. Дремов А. Разработка в США специализированных взрывчатых смесей для авиационных средств поражения// Зарубежное военное обозрение. – 2010. – №10 – с. 60 – 62.
9. Щербинин Р. Перспективные боевые части высокоточного оружия США// Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 4 – с. 58 – 63.

Надійшла до редакції 26.10.2012