

УДК 623.68: 623.565.13

С.Д. Войтенко

Центральний НДІ озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ

ЗАЛЕЖНІСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБУХОЗАХИСНОГО КОНТЕЙНЕРА ВІД ДИНАМІКИ УДАРНОЇ ХВИЛІ

Запропонована методика обґрунтування характеристик вибухозахисного контейнера з спрямуванням дії вибуху в залежності від динаміки ударної хвилі. Викладені результати розрахунку оптимальної за навантаженням довжини контейнера та визначені параметри ударно-хвильового навантаження вибивного отвору, які дають змогу обґрунтувати конструктивні характеристики засобу захисту літака.

Ключові слова: вибухозахисний контейнер, ударна хвиля.

Вступ

Виходячи з аналізу проблем захисту літаків від бомбового тероризму [1], на думку фахівців АНТК “Антонов” і автора, найбільш перспективним уявляється використання для захисту засобів, які спрямовують дію вибуху за межі конструкції літального апарата, не завдаючи йому руйнівної дії. Вважається за доцільне розробити конструкцію засобу на основі артилерійських стволів калібру 100 – 150 міліметрів, де стінки ствола є корпусом засобу, який сприймає вибухове навантаження, а канал ствола служить для спрямування дії ударної хвилі і виходу газоподібних продуктів вибуху (рис. 1). Обидва торця каналу відкриті для розміщення в каналі вибухового пристрою та спрямування продуктів вибуху за межі фюзеляжу. Вихід продуктів вибуху здійснюється шляхом вибиття або руйнації ударною хвилею спеціальних отворів в обшивці. Конструкція засобу симетрична в радіальному і поздовжньому напрямках, вибуховий пристрій розміщується в центрі симетрії.

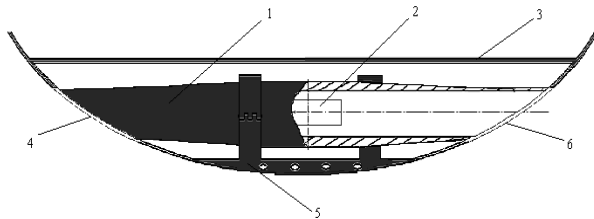


Рис. 1. Схема засобу захисту із спрямуванням дії вибуху:
1 – корпус засобу; 2 – вибуховий пристрій;
3 – палуба салону; 4, 6 – вибивні отвори;
5 – шпангоут з вузлами кріплення засобу

Основна частина

Але такий контейнер на практиці ще не використовується, а процеси його функціонування значно відрізняються від процесів, що відбуваються в існуючих засобах захисту. Проведені попередні дослідження характеристик конструкції та процесу функціонування такого контейнера свідчать про принципову можливість створення на його основі захисту літаків [2]

Тому доцільно визначити залежність характеристик конструкції засобу захисту від закономірно-

стей поширення УХ. При вибуху заряду конденсованої вибухової речовини (КВР) у півзамкненому просторі енергії УХ розсіюється значно повільніше чим в атмосфері. Стінки в даному випадку є поверхнями відбиття, які суттєво впливають на процеси створення і поширення УХ. Тому інтенсивність УХ в захисному пристрої буде визначається не тільки енергією вибуху, переданою повітрю, але й процесами її відбиття. Падаюча ударна хвиля (ПУХ) поширюється у незбуреному повітряному середовищі, а відбита ударна хвиля (ВУХ) у стисненому і нагрітому середовищі (рис. 2).

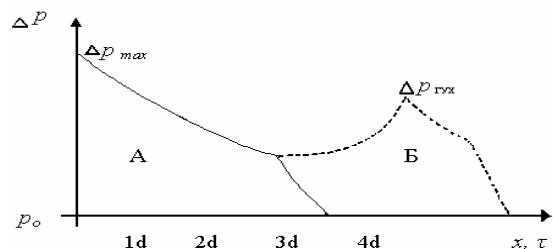
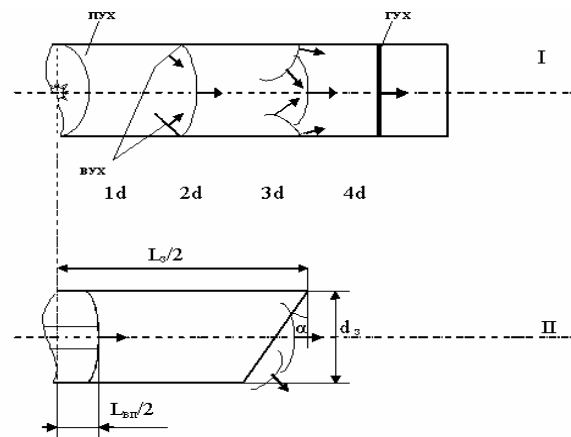


Рис. 2. Вплив довжини каналу на параметри УХ

Отже, ВУХ мають більшу швидкість, ніж ПУХ, тому відбиті хвилі наздоганяють і зливаються з падаючою починаючи процес нерегулярного відбиття. В подальшому створюється єдиний плоский фронт головної ударної хвилі (ГУХ), який рухається по каналу. Система фронтів падаючої, відбитої і головної хвилі має загальні потрійні точки, які переміщуються

під час руху по каналу від плоскості відбиття до центру каналу. Хоча нерегулярне відбиття вивчено недостатньо і немає задовільних методів розрахунку УХ потрійної конфігурації, але експериментально встановлено, що імпульс УХ під час формування ГУХ збільшується в середньому на 37 %.

При пружній деформації корпусу контейнера максимальне радіальне напруження і деформація буде визначатися за формулою:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{i}{\delta} \sqrt{\frac{1}{\rho E}}; \quad \sigma_{\max} = \frac{i}{\delta} \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

де i – питомий імпульс відбитої від стінки каналу хвилі; δ , ρ – товщина та густина матеріалу стінки; E – модуль Юнга [3, 4]. Таким чином, в зоні формування плоского фронту ГУХ динамічне навантаження на конструкцію контейнера збільшується пропорційно збільшенню імпульсу УХ.

Відповідно [4] динамічне навантаження оболонки (контейнера) пропорційне площі S , що обмежена кривою тиску в залежності від часу та горизонтальною лінією, що визначає тиск у незбуреному повітрі. Як видно з графіка (рис. 2) при виборі варіанта I конструкції засобу захисту навантаження буде пропорційне сумі площ S_A і S_B , а при варіанті II площі S_A , тобто в першому випадку навантаження буде значно більшим. Принципово, що відстань між зарядом і зоною формування плоского фронту УХ становить не менше 4 характерних розмірів перерізу каналу. Тому, на думку автора, для конструкції захисного пристрою з розташуванням заряду в центрі симетрії каналу для визначення оптимальних геометричних характеристик пристрою доцільно ввести таке обмеження:

$$\frac{L_3}{2d_3} \leq 4, \quad (1)$$

де L_3 – довжина; d_3 – діаметр каналу.

Але дане співвідношення не враховує розмірів заряду та дійсне тільки для прямого каналу з постійним перерізом та прямим торцевим зрізом, що зменшує можливості його використання.

Товщина фронту в газі має порядок довжини вільного пробігу молекул, тобто в даному випадку можливо знехтувати товщиною фронту та з достатньою точністю розрахувати відстань, пройдену УХ від поверхні заряду. При кутовому зрізі торця каналу відстань проходження ВУХ обмежується меншою стороною каналу. Тому, для варіанта конструкції II обмеження, описуються таким співвідношенням:

$$\frac{L_3 / 2 - L_{\text{вп}} / 2 - \text{tg} \alpha d_3}{d_3} \leq 4,$$

де $L_{\text{вп}}$ – довжина вибухового пристрою; α – кут зрізу торця каналу.

Дане співвідношення дійсно для випадку, коли осі симетрії заряду і каналу приблизно збігаються, але на практиці можливість саме такого розміщення заряду обмежена, тому з усього різноманіття варіантів запишемо вираз для найбільш небезпечного

випадку, а саме коли торець заряду знаходиться на вертикальній осі симетрії каналу б

$$\frac{L_3}{2d_3} \leq 4 + \text{tg} \alpha.$$

Виходячи з того, що величина кута α продиктована кривизною гермообшиття фюзеляжу в місці установки засобу, діаметр каналу d_3 визначається калібром обраного артилерійського ствола, запишемо рівняння для визначення критичного параметра конструкції – максимально допустимої довжини засобу захисту:

$$L_{3\max} = 2d_3(4 + \text{tg} \alpha). \quad (2)$$

За співвідношеннями (1), (2) визначимо $L_{3\max}$ для деяких варіантів діаметра та кута зрізу каналу.

Порівнюючи результати розрахунку (табл. 1) та параметри фюзеляжу, зробимо такі висновки: для установці доцільно розташувати засіб захисту у місці, де поздовжній переріз фюзеляжу не перевищує $L_{3\max}$; у випадку, коли переріз фюзеляжу перевищує $L_{3\max}$, доцільно розглянути можливість вибору засобу захисту більшого діаметра.

Таблиця 1

Максимально допустима довжина засобу захисту $L_{3\max}$, мм

Калібр/ α°	60°	45°	30°	0
122	1399	1220	1117	976
125	1433	1250	1144	1000
130	1490	1300	1190	1040
152	1743	1520	1392	1216

Відповідно [3, 4] на теперішній час аналітичне розв'язання задач навантаження конструкцій при нерегулярному відбитті УХ можливо тільки методами чисельного моделювання. В той же час, матеріали робіт [5, 6] свідчать про широке застосування при дослідженнях процесів навантаження регулярними і нерегулярними ударними хвилями вибухових ударних труб. Проведені експериментальні дослідження з застосуванням ударних труб дали змогу обґрунтувати теорію розширення УХ в штольнях, шахтах та тунелях, яка отримала практичне підтвердження і широке застосування в гірничій справі. Принципово, що ударні труби за своєю конструкцією і фізикою процесів, що в них відбуваються аналогічні запропонованому для захисту літаків засобу із спрямуванням дії вибуху.

Виходячи із зазначеного, на думку автора, для оцінки вибухового навантаження конструкції засобу захисту можливо застосувати деякі емпіричні залежності, отримані під час досліджень в ударних трубах.

Визначимо навантаження на вибивний отвір для штатного осісиметричного розміщення зосередженого заряду тротилу з густиною $\rho_0 = 1,64 \text{ г/см}^3$, масою $q = 0,4 \text{ кг}$ у контейнері із спрямуванням дії вибуху. Радіус сферичного (зосередженого) заряду (м) становить

$$r = \sqrt[3]{\frac{3q}{4\pi\rho_0}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 0,4 \text{ кг}}{4\pi(1,64 \cdot 10^3) \text{ кг/м}^3}} = 0,039.$$

Залежність параметрів навантаження вибивного отвору від кута зрізу каналу

УХ/ α	0	30°	45°	52°	60°
ΔP_{ϕ} , кгс / см ²	12,15	14,81	17,86	20,89	29,69
τ , мс	11	8,99	7,45	6,37	4,48
$\Delta P_{\text{від}}$, кгс / см ²	70,04	89,38	112,09	–	–

ВИСНОВОК

Виходячи із зазначеного, з метою недопущення прориву газоподібних продуктів вибуху в гермосалон та збільшення газодинамічного навантаження конструкції контейнера і відсіку, автор вважає за доцільне обмежити міцність отвору величиною експлуатаційного тиску в салоні.

Список літератури

1. Войтенко С.Д. Проблеми створення засобів захисту від терористичних вибухів на борту літака / С.Д. Войтенко // Вісник НАУ; Національний авіаційний університет. – 2008. – №3. – С. 55-59.
2. Войтенко С.Д., Напряженно-деформированное состояние пустотелых цилиндров при нагружении внутренним импульсным давлением / Войтенко С.Д., Тищенко А.А., Сидоренко Ю.М. // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2008. – №2. – С. 51-59.
3. Физика взрыва / под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное. – В 2 т.; Т. 2/ – М.: Физматлит, 2002. – 656 с.
4. Кобылкин И.Ф. Ударные и детонационные волны. Методы исследования / И.Ф. Кобылкин, В.В. Селиванов, В.С. Соловьев, Н.Н. Сысоев. – М.: Физматлит, 2004. – 376 с.
5. Гурин А.А. Ударные воздушные волны в горных выработках / А.А. Гурин, П.С. Малый, С.К. Савенко. – М.: Недра, 1983. – 223 с.
6. Покровский Г.И. Действие удара и взрыва в деформированных средах / Г.И. Покровский, И.С. Федоров. – М.: Госстройиздат, 1957. – 276 с.
7. Покровский Г.И. Взрыв. 4-е изд., перераб. и доп. / Г.И. Покровский. – М.: Недра, 1980. – 190 с.

Надійшла до редколегії 8.06.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К.Б. Круковський-Сіневич, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, Київ.

Для обґрунтування характеристик конструкції вибивного отвору необхідно визначити тиск і час дії на нього падаючої УХ. Для відстаней $R > R_k$ для вибухової речовини нормальної потужності можна застосувати наведені в роботі [5, 6] залежності.

Максимальний тиск (кгс/см²) падаючої на перемичку УХ

$$\Delta P_{\phi} = \frac{q^{1/2}}{R_k^{3/4} R^{3/4}}, \quad (3)$$

де R_k – радіус каналу, м; $R = L_3/2 - r - d_3 \operatorname{tg} \alpha$ – відстань, яку проходить УХ до отвору, м.

Час дії (с) надлишкового тиску

$$\tau = 0,0013 \frac{R^{3/4} q^{1/2}}{\sqrt[4]{R_k^5}}. \quad (4)$$

Тиск УХ (кгс/см²) в момент відбиття від перемички визначається за формулою С.В. Ізмайлова [5, 7].

$$\Delta P_{\text{від}} = \Delta P_{\phi} \left(2 + \frac{6}{1 + 7(P_O/P_{\phi})} \right). \quad (5)$$

Формулу (5) застосовують на практиці за умови, що напрямок руху УХ до відбиття відхиляється не більш ніж на 45° від перпендикуляра, побудованого на поверхні відбиття. Коли відхилення значніше, розрахунок тиску стає складнішим. В статті нема можливості це розглянути, але треба зазначити, що при кутах між напрямом хвилі і перпендикуляром більше 60° тиск в відбитій хвилі зменшується і наближається до тиску падаючої хвилі [5, 7]. За виразами (3), (4) розраховуємо тиск і час дії падаючої на отвір УХ у каналі контейнера, довжина якого становить 0,7 м, діаметр 0,125 м, при кутах зрізу каналу α від 0 до 60°.

Для визначення необхідної міцності вибивного отвору необхідно враховувати таке: засіб захисту розміщено у не герметичному відносно салону відсіку, де відповідно до технічних вимог максимальний надлишковий тиск (експлуатаційний) не перевищує 0,65 кгс/см²; без руйнації падаючою УХ вибивного отвору відбувається процес її відбиття, що призводить до стрибкоподібного збільшення тиску на перемичку до величини тиску відбиття (табл. 2).

ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗРЫВОЗАЩИТНОГО КОНТЕЙНЕРА ОТ ДИНАМИКИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

С.Д. Войтенко

Предложена методика обоснования характеристик взрывозащитного контейнера с направленным действием взрыва в зависимости от динамики ударной волны. Представлены результаты расчета оптимальной по нагрузке длине контейнера. Определены параметры ударно-волновой нагрузки вышибного отверстия, которые дают возможность обосновать конструктивные характеристики средства защиты самолета.

Ключевые слова: взрывозащитный контейнер, ударная волна.

CHARACTERISTICS DEPENDENCE OF EXPLOSION-PROOF CONTAINER ON DYNAMICS OF SHOCK WAVE

S.D. Voytenko

Is offered characteristics determination method the explosion-proof container is with direction of explosion action depending on the dynamics of shock wave. There are results of calculation optimal on length effort of container. The certain parameters of the shock wave loading the knocked out opening, which give possibility to define structural characteristics of mean of defenses of airplane.

Keywords: explosion-proof container, shock wave.