

УДК 623.451: 519.6

С.Д. Войтенко<sup>1</sup>, О.А. Тищенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Центральний НДІ озброєння та військової техніки ЗС України, Київ

<sup>2</sup>Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", Київ

## ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВИБУХОЗАХИСНОГО КОНТЕЙНЕРА

*В статті запропонована методика численного моделювання процесів динамічного навантаження вибухозахисного контейнера. Викладені результати моделювання напружено-деформованого стану контейнера. Отримані результати дають змогу обґрунтувати конструктивні характеристики засобу захисту літака.*

**Ключові слова:** вибухозахисний контейнер, чисельне моделювання.

### Вступ

Терористичні вибухи на борту літака найбільш небезпечні постійно пов'язані з численними жертвами. Відомо, що навіть відносно невеликий заряд у 50-100 г тринітротолуолу (ТНТ) спроможний знищити літак при закладці в найбільш вразливих місцях, а заряд у 400-500 г ТНТ знищить літак практично безумовно [1].

Забезпечити безпеку можливо шляхом застосування на літаку пристроїв, які знижують дію вражаючих чинників вибуху, а саме: вибухозахисних контейнерів, урн або локалізаторів. За вимогами Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO/NATO)

на всіх літаках, розрахованих на перевезення більш ніж 30 пасажирів, повинні бути у обов'язковому порядку передбачені засоби локалізації виявлених на борту вибухових пристроїв [2].

Однак існуючі контейнери мають незадовільні масагабаритні показники, які приводять до суттєвих фінансових збитків при експлуатації літака за рахунок зменшення його корисного навантаження та накладають суттєві обмеження щодо вибору місця установки на борту. Особливо велике значення ці недоліки мають для регіональних, ближньомагістральних літаків (Ан-140, Ан-148 та ін.). В даному випадку маса і габарити засобів захисту є вирішальними характеристиками при виборі їх конструкції.

**Постановка завдання.** Найбільш перспективним на сьогоднішній день на думку авторів, є використання для захисту від бомбового тероризму пружно-пластичного негерметичного контейнера, який спрямовує вихід продуктів вибуху за межі конструкції літального апарата. Але такий засіб на практиці ще не використовується, а процеси його функціонування значно відрізняється від процесів, що відбуваються в існуючих засобах захисту. Для оптимізації конструктивних параметрів такого контейнера та оцінки ефективності його функціонування можуть бути використані результати чисельного моделювання напружено-деформованого стану контейнера при деформації під дією продуктів детонації.

**Метод рішення. Розрахункова схема**

Корпус контейнера виготовляється у вигляді товстостінного циліндра з внутрішнім діаметром 130 мм, товщиною стінки 20 мм та довжиною 700 мм.

Дослідження проводилось з використанням методики, що застосовує лагранжевий підхід (Lagrange Formulation) для описання руху деформованого середовища. Поведінка матеріалу корпусу контейнера описувалось моделлю ідеального пружно-пластичного середовища [2]. Для опису стану вибухової речовини була використана модель Джонсана-Уілкінса-Лі [3].

Задача розв'язувалась у двовимірній постановці (циліндрична симетрія). Матеріалом корпусу була обрана середньовуглецева сталь ( $\rho=7850\text{кг/м}^3$ ,  $E=2,16\cdot 10^{11}\text{Па}$ ,  $\mu=0,241$ ,  $\sigma_t=875\text{МПа}$ ).

Як заряд вибухової речовини (ВР) використовувався тринітротолуол (ТНТ) масою 400 г, густиною  $1630\text{ кг/м}^3$  та швидкістю детонації  $6930\text{ м/с}$ . Діаметр заряду ВР був прийнятий рівним 54 мм, а висота – 107 мм. Розміщувався заряд ВР всередині

контейнера таким чином, щоб його вісь симетрії співпадала з повздовжньою віссю контейнера, точка ініціювання розташовувалась на осі заряду ВР посередині (рис. 1). Враховуючі те, що контейнер призначений для використання на борту літаків, де маса конструкції є одним з основних параметрів при проектуванні, були проведені розрахунки металевого циліндричного корпусу контейнера з різним значенням товщини стінки – 20, 15 та 10 мм.

**Результати розрахунків**

За оцінку працездатності конструкції (критерію міцності) був прийнятий критерій найбільших деформацій. Причому для сталюого циліндра за максимальну величину відносного радіусу розширення була обрано значення  $[\bar{b}_f]=1,6$  [5].

Кадри комп'ютерного моделювання процесу деформації варіанта конструкції з товщиною стінки рівні 20 мм зображені на рис. 2, а результати розрахунків приведені в табл. 1.

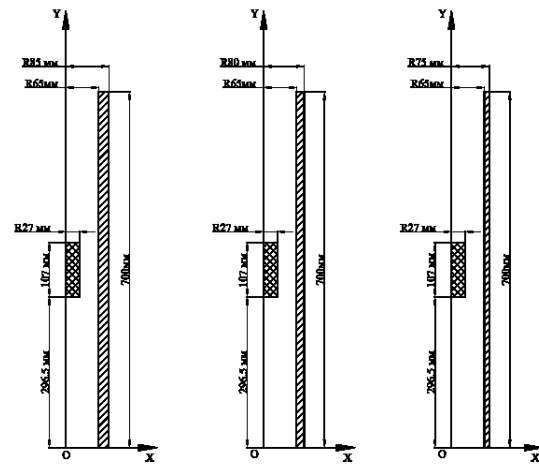


Рис. 1. Розрахункова схема

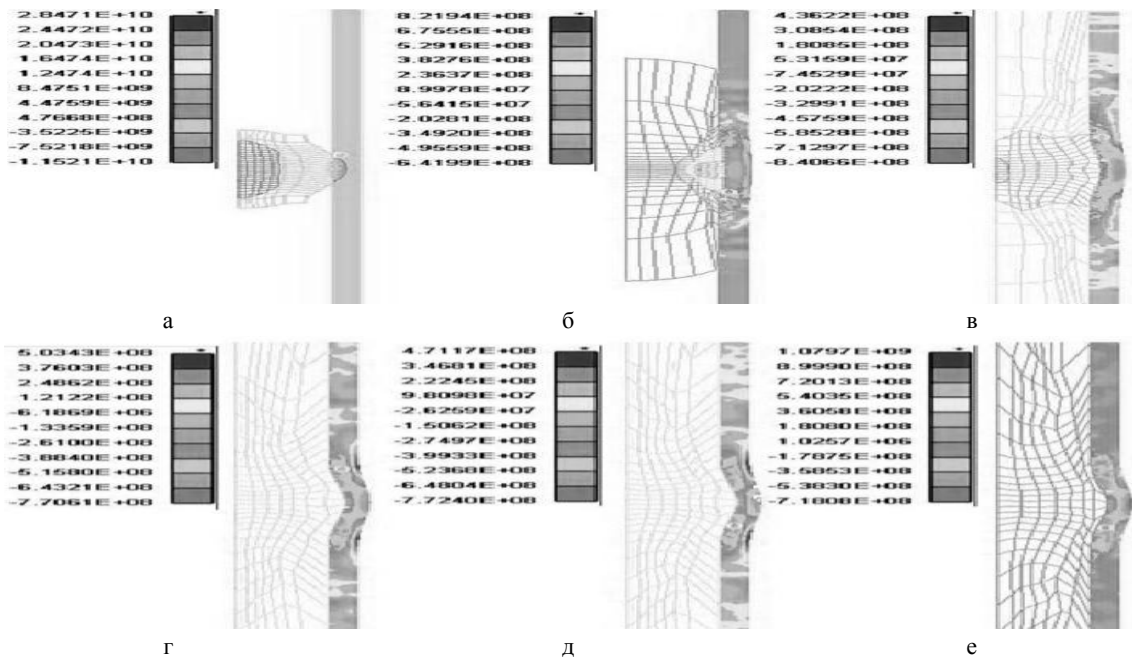


Рис. 2. Процес деформації сталюого циліндра товщиною 20 мм: а –  $t=1,449\text{E-}5\text{ с}$ ; б –  $t=4,199\text{E-}5\text{ с}$ ; в –  $t=7,199\text{E-}5\text{ с}$ ; г –  $t=1,095\text{E-}4\text{ с}$ ; д –  $t=1,169\text{E-}4\text{ с}$ ; е –  $t=1,39\text{E-}4\text{ с}$  (цифри – напруження в Па)

Результати розрахунків

№	Параметр	Товщина стінки циліндра		
		20	15	10
1.	Максимальний відносний радіус розширення $\bar{b}_f = b_f / b_0$	1,11	1,23	1,58
2.	$\bar{b}_f / [\bar{b}_f] * 100\%$	69	77	98,8
3.	Максимальне осьове переміщення бокових торців корпусу, мм	1,2	2,29	7,11
4.	Тривалість процесу деформування, мкс	135	295	529
5.	Маса корпусу контейнера, кг	51,7	37,5	24,2

Визначено, що усі варіанти виготовлення корпусу задовольняють обраному критерію міцності.

Наприклад, варіант конструкції з товщиною стінки рівній 20 мм може ще розширюватися приблизно на 30% до досягнення критичного стану – руйнування.

Виходячи з отриманих результатів, при зменшенні товщині корпусу максимальний радіус розширення зовнішньої поверхні контейнера збільшується.

Наприклад, для варіанта з товщиною 10 мм ця величина сягає значення 1,57, що є 98% від максимально допустимого.

При цьому величина маси корпусу зменшується більш ніж у два рази.

Крім того, результати розрахунків указують на тенденцію збільшення величини осьового переміщення більш ніж у 5 разів бокових торців корпусу від 1,2 мм до 7 мм для 20 та 10 мм варіанта конструкції відповідно.

Отримані параметри деформації контейнера необхідні для вибору місця, способу установа засобу на літаку та для оцінки впливу процесу функціонування контейнера на елементи конструкції планера літака.

## Висновок

Таким чином, моделювання показало, що варіант конструкції вибухозахисного контейнера з товщиною стінки циліндра 20 мм з спрямуванням продуктів вибуху за межі літака, має достатній коефіцієнт запасу міцності (1,44). Одночасно доведено можливість приблизно удвічі зменшити загальну масу конструкції за рахунок виготовлення сталюого корпусу зі зміною по осі товщиною стінок.

## Список літератури

1. *Противодействие террористическим взрывам на воздушном транспорте / Г.В. Новожилов, Н.В. Вдовин, А.И. Михайлин, М.В. Сильников, У.И. Терентьев. – М.: Изд. РАРАН, 2005. – Вып. 4(45). Приложение. – 20 с.*
2. Рудаков К.М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій: Навч. посібн. – К.: НТУУ "КПІ", 2007. – 379 с.: іл.
3. LLNL Explosive Handbook. Properties of Chemical Explosives and Explosive Simulants / В.М. Dobratz. Livermore. – California, 1981. – 257 p.
4. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Т.2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 656 с.

Надійшла до редколегії 10.06.2008

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

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЗРЫВОЗАЩИТНОГО КОНТЕЙНЕРА

С.Д. Войтенко, А.А. Тищенко

*В статье предложена методика многочисленного моделирования процессов динамической нагрузки взрывозащитного контейнера. Изложены результаты моделирования напряженно деформированного состояния контейнера. Полученные результаты дают возможность обосновать конструктивные характеристики средства защиты самолета.*

**Ключевые слова:** взрывозащитный контейнер, численное моделирование.

## THE NUMERICAL SIMULATION OF TENSELY-DEFORMED STATE OF EXPLOSION-PROOF CONTAINER

S.D. Voytenko, A.A. Tischenko

*The method of numerical design of processes of the dynamic loading of explosion-proof container is offered in the article. The results of design of the tensely deformed state of container are expounded. The got results enable to ground structural descriptions of mean of defence of airplane.*

**Keywords:** explosion-proof container, numeral design.