

Дар'я ТАРАСОВА, студент,

Ганна ОВЧАРЕНКО, ст. викладач,

Василь КОЗЯР, канд. мед. наук, доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна,
e-mail: kozyarvasilij@gmail.com

ОПТИМАЛЬНИЙ ДИЗАЙН КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДОНОРСЬКОЇ КРОВІ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. Ця робота досліджує застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у логістиці і зосереджена на обчисленні, з урахуванням динаміки польоту, основних параметрів контейнерів раціонального дизайну для транспортування донорської крові в прифронтову зону. Розроблені ескізи краплеподібних та напівкраплеподібних контейнерів, а також оптимізовані геометричні форми для покращення аеродинамічних характеристик контейнерів та забезпечення їх потрібної вмістимості. Встановлено, що внутрішній об'єм контейнерів із діаметром сферичної частини 15 або 20 см дозволяє розмістити в них не менше 4-х стандартних пакетів з донорською кров'ю. В той же час, лобовий опір таких контейнерів мінімальний і не створює суттєвих перешкод польоту при притаманних для БПЛА швидкостях. Крім того, як показали розрахунки, контейнери запропонованого дизайну при польоті створюють додаткову підйомну силу, завдяки чому дальність польоту суттєво підвищується.

Ключові слова: трансфузіологія, медична логістика, БПЛА, аеродинаміка, підйомна сила.

Актуальність дослідження

Під час повномасштабного вторгнення в Україну ускладнилася можливість проводити рятувальні операції та надавати першу допомогу. У важкодоступних місцях потрібні інноваційні способи доставки ліків і препаратів крові. Актуальність трансфузійної допомоги зумовлена тим, що при пораненнях військові гинуть саме з-за крововтрати. Створювати в прифронтовій зоні донорські пункти та банки крові проблематично. Використання людських ресурсів і наземне транспортування наразі обмежені, тому БПЛА можуть відігравати значну роль у військовій та цивільній екстреній медицині [1, 2].

Мета дослідження

Підвищення ефективності надання невідкладної медичної допомоги пораненим. Створення контейнерів оптимальної аеродинамічної форми для повітряного транспортування препаратів крові в зону бойових дій.

Основні матеріали досліджень

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) – це нова технологічна можливість, яка може радикально змінити традиційні підходи. Пандемія коронавірусу в 2020 році різко підвищила актуальність вирішення логістичних завдань в надзвичайних ситуаціях [3].

Розроблювані контейнери передбачається інтегрувати з БПЛА для ефективного транспортування компонентів крові в екстремальних умовах. В якості висхідних даних при розробці контейнерів взяті характеристики БПЛА мод. Skyfront Perimeter 8 (США): вантажопідйомність до 10 кг, максимальна швидкість польоту 40 км/год., 3 години польоту при навантаженні 5 кг, та об'єм стандартного пакета із донорською кров'ю $0,00045 \text{ м}^3$.

Простір між посадочними опорами цього БПЛА дозволяє розмістити контейнер об'ємом до $0,006 \text{ м}^3$, що достатньо для перевезення більше 10 пакетів із донорською кров'ю.

Результати

Зважаючи на транспортування повітрям, доцільно, щоб контейнери мали раціональну аеродинамічну форму, що покращує маневреність і радіус дії. Вибір форми контейнерів ґрунтувався на даних про лобовий опір тіл різної геометричної форми [4, 5]. Визначення характерної площі залежить від форми тіла: у найпростішому випадку (сфера) – це площа поперечного перерізу [4, 6].

Згідно цих даних, оптимальною є краплеподібна форма. Ескізи контейнерів наведені на рис. 1. Подальші розрахунки проводилися для контейнерів різних розмірів краплеподібної та напівкраплеподібної форми.

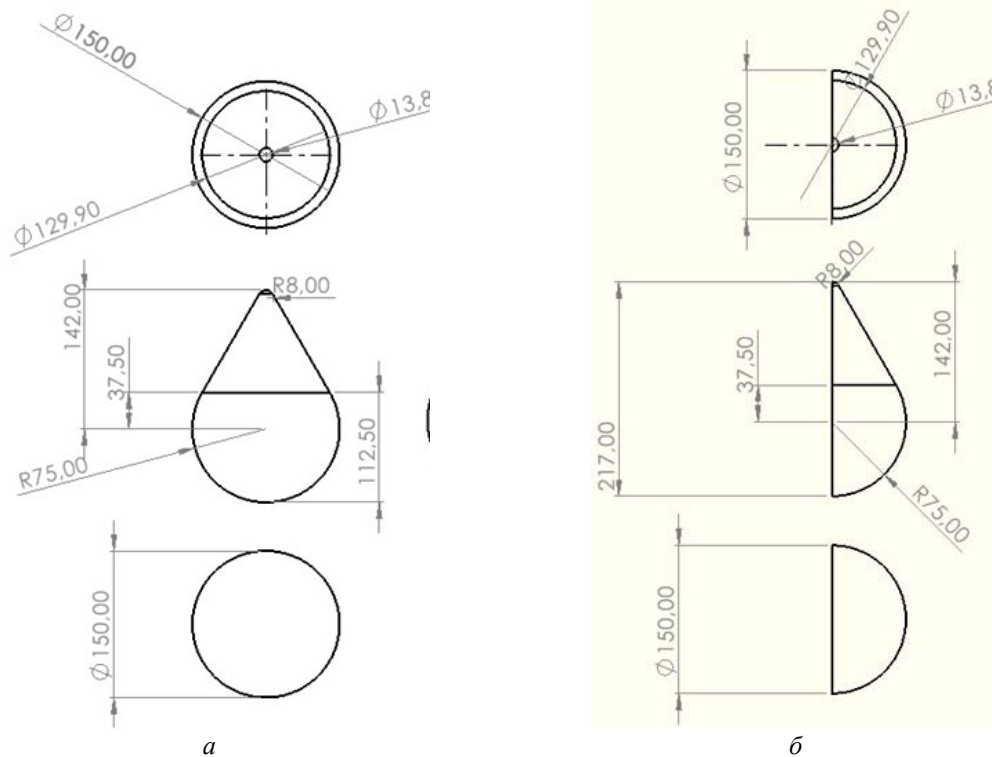


Рис. 1. Ескізи контейнерів: а – краплеподібної форми, б – напівкраплеподібної форми

Для розрахунку лобового опору контейнерів у процесі транспортування використані такі залежності:

$$F = C_F \frac{\rho v^2}{2} S \quad (1)$$

де C_F – безрозмірний коефіцієнт аеродинамічного опору. Для краплеподібного тіла цей коефіцієнт становить 0,04, а для половини краплеподібного тіла цей коефіцієнт визначається як 0,09 [3];

ρ – густина сухого повітря при 293,15 К, 1,2 кг/м³;

v – швидкість потоку повітря, м/с;

S – найбільша площа перерізу тіла перпендикулярно напрямку руху, м².

Результати розрахунків лобного опору контейнерів в залежності від швидкості польоту наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Лобовий опір контейнерів в залежності від швидкості польоту (Н x 10⁻⁴)

V м/с (10-40 км/год.)	2,78	5,56	8,33	11,11
$D = 0,15 \text{ м} / S_1 = 176 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$	34	135,7	305	542
$D = 0,2 \text{ м} / S_2 = 314 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$	60,63	243,3	544	967
$D = 0,15 \text{ м} / S_{1/2} = 88 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$	38,4	153,3	344	612
$D = 0,2 \text{ м} / S_{2/2} = 157 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$	68,2	272,6	612	1088

Початкова форма контейнера у вигляді краплі - це об'єднання півсфери і конуса, де висота конуса дорівнює двом радіусам сфери. Попередні розрахунки ємності контейнерів були виконані для цієї геометричної конфігурації. (табл. 2) При такій конфігурації перехід між поверхнею півкулі і конусом є неплавним. Відомо, що саме на різких переходах поверхонь виникають завихрення і зриви потоку, що впливає на підйомну силу та загальні аеродинамічні характеристики [7].

Доцільно забезпечити плавний перехід від конічної поверхні до сферичної по дотичній (рис. 1. а). У результаті об'єм півкулі доповнюється об'ємом частини сфери при зменшенні висоти конуса. Розрахунки показали, що при такій модифікації суттєво збільшується внутрішній об'єм контейнерів (табл. 2).

Таблиця 2

Об’єми контейнерів різних форм і модифікацій

Форма і розмір	Крапля, $D=0,15$ м	Крапля, $D=0,2$ м	Половина краплі, $D=0,15$ м	Половина краплі, $D=0,2$ м
Об’єм до модифікації	$1,77 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$2,35 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$0,88 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$1,17 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Об’єм після модифікації	$2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$2,66 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$1,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Збільшення об’єму	$0,23 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$0,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$0,12 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$0,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

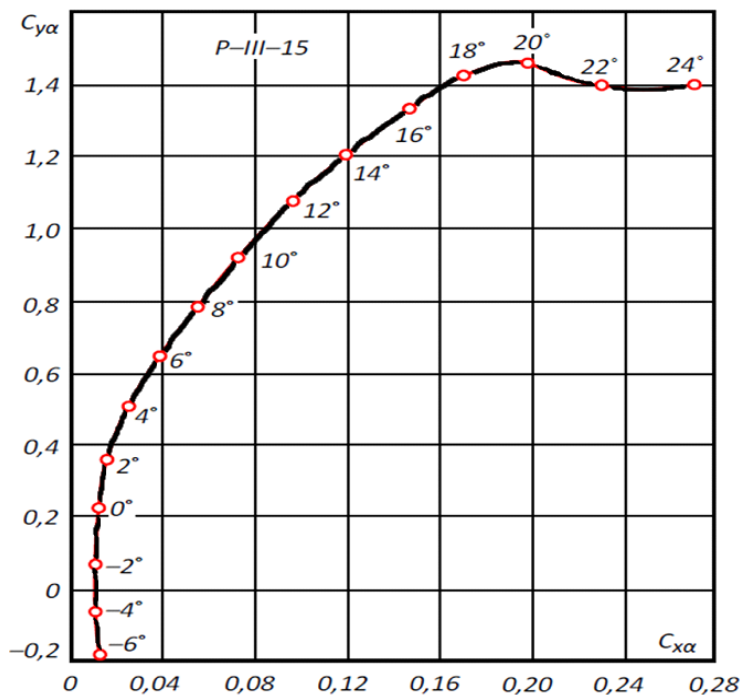


Рис. 2. Поляра крила [6]

Підйомна сила, яка створюється під час польоту контейнерами у формі половини краплі розраховувалася згідно формули:

$$F_y = C_y \rho V^2 S \quad (2)$$

де C_y – коефіцієнт залежності підйомної сили від кута атаки;

ρ – густина сухого повітря, $1,2 \text{ кг/м}^3$;

V – швидкість потоку повітря, м/с;

S – площа аеродинамічної поверхні, розраховані значення становили при $D = 0,15$ м та $0,2$ відповідно $21 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ і $36 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Значення коефіцієнтів C_y отримували з графіка «Поляра крила» (рис. 2) для кута атаки, менше 15 град., перевищення якого загрожує переходом літального апарата в штопор [6, 7].

Результати розрахунків генерації підйомної сили при різних кутах атаки і швидкостях польоту представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Генерація підйомної сили при різних кутах атаки і швидкостях польоту (в Н $\times 10^4$)

Кут атаки, град.	0	2	4	6	8	10	12	14
$D=0,15$ м; V м/с								
2,78	426	771	1055	1257	1623	1867	2191	2435
5,56	1704	3083	4219	5031	6491	7464	8763	9737
8,33	3826	6923	9473	11295	14574	16761	19675	21862
11,1	6802	12390	16884	20084	25914	29802	34984	38875
$D=0,2$ м; V м/с								
2,78	731	1322	1809	2157	2783	3201	3757	4175
5,56	2921	5286	7233	8624	11128	12797	15023	16692
8,33	6558	11867	16240	19363	24984	28732	33728	37476
11,1	11661	21110	28876	34429	44424	51088	59972	66636

Висновок

Краплеподібні та напівкраплеподібні геометричні форми є оптимальними варіантами конструкції контейнера, призначеного для безпілотного транспортування компонентів крові. При діаметрі передньої частини таких контейнерів $0,15 - 0,20$ м, їх об’єм дозволяє транспортувати 4 - 10 стандартних пакетів донорської крові. Реалізація тангенціального переходу сферичної частини контейнерів в кінчну збільшує корисний об’єм і спрямована на усунення таких явищ, як завихрення, зрив потоку. Під час руху контейнерів у формі половини краплі реалізується їх аеродинамічна якість: в залежності від швидкості польоту та кута атаки генерується підйомна сила до $6,6$ Н, що дозволяє суттєво збільшити дистанцію транспортування.

Література

1. Сиваш Є. В. Перспективи застосування медичних дронів в Україні під час повномасштабного вторгнення в порівнянні зі світовою практикою / Є. В. Сиваш, С. І. Калашченко, А. М. Гринзовський // Матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю «Екологічні та гігієнічні проблеми сфери життєдіяльності людини» (Київ, 15 березня 2023 р.) / за загальною редакцією член-кор. НАМН України, професора С.Т. Омельчука. – К.: МВЦ «Медінформ», 2023. – С. 177. <http://ir.librarynmu.com/bitstream/123456789/9359/1/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE-.pdf#page=177>.
2. Юхименко, К. І. Доцільність виходу компанії на ринок експрес-доставки за допомогою безпілотних літальних апаратів : дипломна робота ... бакалавра : 075 Маркетинг / Юхименко Костянтин Ігорович. – Київ, 2020. – 187 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/43720>.
3. Як дрони підвищують доступність медичної допомоги та знижують навантаження на систему охорони здоров'я [Електронний ресурс] // Освітній блог-оглядач – Режим доступу до ресурсу: <https://kultura.poltava.ua/yak-droni-pidvishhuyut-dostupnist-medichnoi-dopomogi-ta-znizhuuyut-navantazheniya-na-sistemu-oxoroni-zdorovya/>. (Дата звернення 05.04.2024).
4. Прикладна механіка 2 (Теорія механізмів та машин) [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів II курсу напрямку підготовки 6.05100303 «Приладобудування» спеціальності 7.05100303 «Прилади і системи орієнтації та навігації» денної форми навчання / НТУУ «КПІ» ; [уклад. П. С. Мироненко, С. О. Цибульник]. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,31 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 35 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/15063>.
5. Дешко, В. І. Гідрогазодинаміка [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент» / В. І. Дешко, В. О. Виноградов-Салтиков, В. Г. Федоров ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 9,11 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 416 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/7785>.
6. Marchman, James F. III, (2021). Aerodynamics and Aircraft Performance, 3rd ed., Blacksburg, VA: University Libraries at Virginia Tech. <http://hdl.handle.net/10919/96525>, CC BY 4.0.
7. Leishman, J. Gordon. Introduction to Aerospace Flight Vehicles. Embry-Riddle Aeronautical University, 2023. <https://eaglepubs.erau.edu/introductiontoaerospaceflightvehicles>.