

УДК 629.7.017.1

МІЦІТІС А. К., старший науковий співробітник
ХАТУНЦЕВА З.В., науковий співробітник

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИПАДКОВИХ ФАКТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ ПАРАШУТНОГО ДЕСАНТУВАННЯ

Розглядається вплив випадкових факторів на точність парашутного десантування (середньоквадратичне відхилення індивідуального розсіювання). Параметри траєкторії зниження системи "парашутист (вантаж) - парашут" визначаються із рішення системи диференціальних рівнянь, на основі яких розраховується середньоквадратичне відхилення координат точок приземлення.

***Ключові слова:** десантування особового складу (вантаж), майданчик десантування, система диференціальних рівнянь, статистичне моделювання, середньоквадратичне відхилення індивідуального розсіювання.*

Проблеми парашутного десантування особового складу (вантажу) на площадку заданих розмірів викликають необхідність оцінки впливу випадкових факторів на точність десантування. В свою чергу точність десантування залежить від таких випадкових факторів як відхилення від розрахункових характеристик засобів десантування, вагових характеристик об'єктів десантування, неоднакова швидкість вітру за висотою і напрямом, різні кліматичні і географічні умови, можлива похибка часу затримання при десантуванні тощо.

Як у вітчизняних, так і в зарубіжних працях відсутня інформація про вплив випадкових факторів на точність десантування, зокрема при вирішенні задач розрахунку імовірності десантування вантажу на площадку заданих розмірів. Тому в даній роботі у спрощеній формі враховується процес наповнення парашутних систем і розраховується середньоквадратичне відхилення індивідуального розсіювання парашутиста (вантажу), що одиночно скидається з транспортного літака, під впливом дії випадкових факторів.

Основні допущення, які прийняті для оцінки ступеню впливу вказаних факторів на точність парашутного десантування, наступні.

1. Висота і швидкість десантування, швидкість вітру, маса парашутиста (вантажу) розподілені за нормальним законом.

2. Параметри траєкторії зниження системи парашутист (вантаж)-парашут визначаються рішенням системи диференціальних рівнянь, в яких вантаж і засоби десантування розглядаються як матеріальна точка [1].

3. Внаслідок короткочасності витягування вантажу і маленького опору витяжного парашута приймається, що на цьому початковому етапі вертикальна складова швидкості вантажу, кут нахилу траєкторії руху вантажу і висота не змінюються.

Точність парашутного десантування об'єктів може бути оцінена за середньоквадратичним відхиленням (СКВ) координат точок приземлення. Статистичне моделювання процесу зниження за початкових умов, вибраних випадковим чином в кожній реалізації, дозволяє отримати координати точок приземлення X, Z , розподілених за нормальним законом (на основі граничної теореми Ляпунова), і розрахувати їх середнє квадратичне відхилення s_x, s_z за формулами:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k_p} (X_i - m_x)^2}{k_p - 1}} \quad ; \quad s_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k_p} (Z_i - m_z)^2}{k_p - 1}}, \quad (1)$$

де $m_x = \frac{\sum_{i=1}^{k_p} X_i}{k_p}$, $m_z = \frac{\sum_{i=1}^{k_p} Z_i}{k_p}$ – математичні сподівання координат точок приземлення

X_i, Z_i, k_p – кількість реалізацій (рішень системи диференціальних рівнянь).

Розрахунок координат точок приземлення об'єкта в кожній реалізації здійснюється на основі рішення системи диференціальних рівнянь. Поняття "основна парашутна система (основний купол)" може бути застосоване як в однокупольному варіанті, так і в багатокупольному. Тому незалежно від кількості парашутів будемо вважати, що багатокупольну систему можна привести до системи з єдиним еквівалентним парашутом площею, що дорівнює сумі всіх площ парашутів системи.

З метою наближення процесу десантування до реального в рівняння руху системи були введені швидкість та кути напряму вітру у вертикальній і горизонтальній площинах.

Рівняння руху системи в проекціях на осі земної (декартової) системи координат X, H, Z (вісь X – напрям вектора швидкості літака, вісь H перпендикулярна до площадки десантування, вісь Z – бокове віднесення) мають вигляд [2]:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= g \left(-\sin q - \frac{C_p S_p(t) + C_g S_g}{G} \frac{r V^2}{2} \right); \\ \frac{dq}{dt} &= -\frac{g \cos q}{V}; \\ \frac{dH}{dt} &= V \sin q + U \cosh; \\ \frac{dX}{dt} &= V \cos q + U \sinh \cos e; \\ \frac{dZ}{dt} &= U \sinh \sin e, \end{aligned} \quad (2)$$

де V – швидкість руху системи, дотична до траєкторії руху; q – кут між вектором швидкості V і віссю X ; H – висота десантування; G – вага системи "парашутист (вантаж) - парашут"; r – густина повітря, змінна за висотою; C_p, C_g – коефіцієнти опору парашутної системи і вантажу відповідно, $S_p(t), S_g$ – площа купола парашута і

вантажу відповідно. Функція $S_p(t)$ визначається фазою (станом) системи на траєкторії спуску (стабілізований спуск, заповнення основного купола, спуск на основному куполі); U – швидкість вітру; h – кут між вектором швидкості вітру і віссю H ; e – кут між проекцією вектора швидкості вітру на площадку десантування і віссю X ; g – прискорення вільного падіння.

При інтегруванні системи рівнянь (2) методом Рунге-Кутти введення парашута в дію виконувалось в такий спосіб. При зниженні системи парашутист-парашут перші 4 секунди спуск здійснювався на стабілізуючому куполі, з 5-тої по 7-му секунди розкриття основного купола відбувалося зі зміною $S_p(t)$ за лінійним законом до повного розкриття. При зниженні системи вантаж-парашут розкриття основного (вантажного) купола (багатокупольної системи) $S_p(t)$ за лінійним законом починалося з висоти 300 метрів від площадки десантування впродовж 6 секунд до повного розкриття. На основі отриманих результатів інтегрування визначалися СКВ індивідуального розсіювання парашутистів (вантажів) S_x, S_z в задачі розрахунку імовірності десантування особового складу (вантажу) на площадку заданих розмірів.

Проілюструємо результати розрахунку СКВ індивідуального розсіювання S_x, S_z на прикладі десантування системи парашутист-парашут (для простоти уявлення наведений обмежений перелік факторів). Вихідні дані для керованих факторів наступні:

<i>висота десантування</i>	<i>3000 м ± 30м;</i>
<i>швидкість літака на режимі десантування</i>	<i>330 км/час ± 0,5 км/час;</i>
<i>маса парашутиста</i>	<i>120 кг ± 5 кг.</i>

Для некерованих факторів і параметрів:

<i>швидкість вітру</i>	<i>2,5 м/с ± 0,5 м/с;</i>
<i>кути напряму вітру:</i>	
<i>у вертикальній площині</i>	<i>88° ... 92°;</i>
<i>в горизонтальній площині</i>	<i>40° ... 50°;</i>
<i>площа стабілізуючого купола</i>	<i>1,5 м²;</i>
<i>площа основного купола</i>	<i>83 м².</i>

Формалізація прикладу проводилась таким чином. Початкові умови – висота десантування, швидкість літака на режимі десантування, маса парашутиста, швидкість вітру задавались за нормальним законом розподілення з математичним сподіванням і СКВ відповідно: $M[H] = 3000$, $\sigma_H = 10$, $M[V] = 91.7$, $\sigma_V = 0.046$, $M[m] = 120$, $\sigma_m = 1.67$, $M[U] = 2.5$, $\sigma_U = 0.046$. Кути напряму вітру змінювались за рівномірним розподілом: у вертикальній площині – $(0,489\pi \dots 0,511\pi)$, в горизонтальній – $(0,222\pi \dots 0,278\pi)$. В кожній i -тій реалізації датчиками випадкових чисел із заданого діапазона значень кожного фактора формувалися початкові умови для рішення системи диференціальних рівнянь і визначалися координати точок приземлення X, Z . Після 1000 реалізацій розраховувались СКВ індивідуального розсіювання.

В підсумку одержали $S_x \approx S_z = 84,3$ м. Рівність S_x і S_z було обумовлено

тим, що вектор швидкості вітру в горизонтальній площині складає 45° з віссю X . Якщо в задачі виключити вплив вітру, тобто прийняти швидкість вітру $U = 0$, середньоквадратичне відхилення S_x складе 1,33 м. Таким чином, основний вплив на формування величини S_x визначає величина швидкості вітру.

На рис. 1 приведений графік залежності середньоквадратичного відхилення парашутиста від висоти десантування $S_x(H)$ (крива 1) за умови надання іншим факторам значень, указаних вище. Середньоквадратичне відхилення вантажу $S_x(H)$, представлено кривою 2, отримано за таких умов:

<i>швидкість літака на режимі десантування</i>	<i>330 км/час \pm 0,5 км/час;</i>
<i>маса вантажу</i>	<i>9500 кг \pm 50 кг;</i>
<i>швидкість вітру</i>	<i>2,5 м/с \pm 0,5 м/с;</i>
<i>кути напряду вітру:</i>	
<i>у вертикальній площині</i>	<i>88° ... 92°;</i>
<i>в горизонтальній площині</i>	<i>40° ... 50°;</i>
<i>площа стабілізуючого купола</i>	<i>18 м²;</i>
<i>площа основного купола</i>	<i>3800 м².</i>

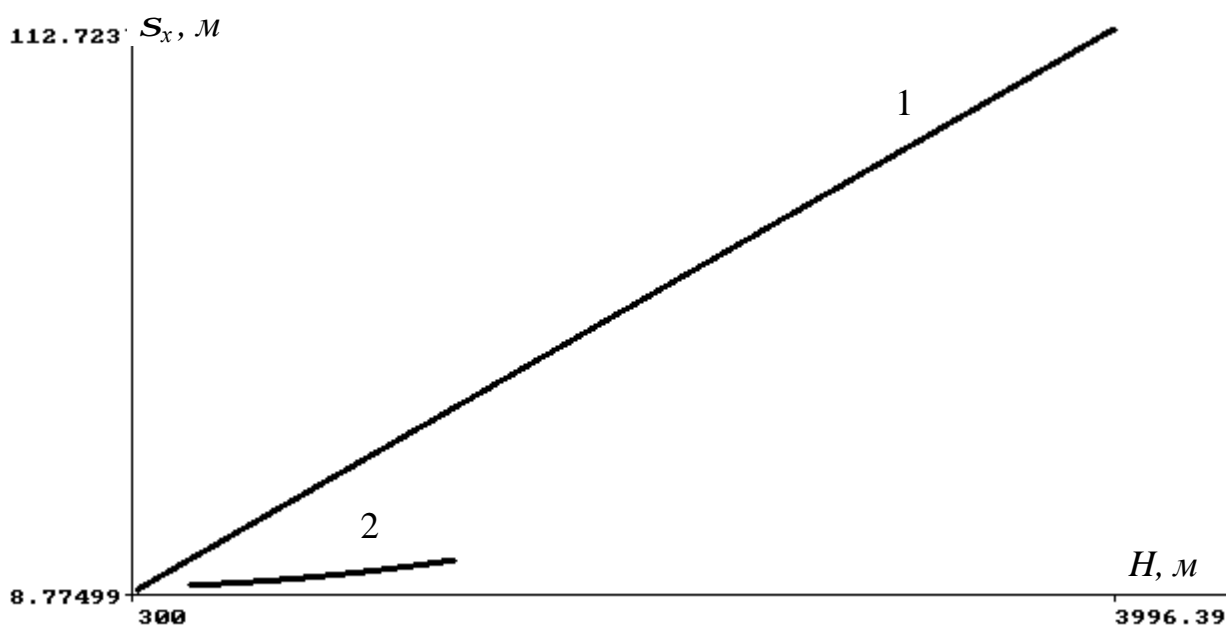


Рис. 1.

Результати розрахунків, наведені на рис. 1, виконані для таких діапазонів висот десантування: для парашутистів – в межах 300...4000 м, для вантажу – 500...1500 м.

Характер зміни $S_x(H)$ для парашутистів і вантажу пояснюється різною схемою розкриття їх парашутів. При десантуванні парашутиста його парашут починає розкриватися на 5-тій секунді зниження, і чим більше висота десантування, а отже і час зниження, тим на більшу відстань переміститься парашутист під

впливом вітру. Таким чином збільшується $s_x(H)$ парашутиста зі збільшенням висоти десантування.

Вантажний парашут починає розкривається за 300 м від площадки десантування, час зниження вантажу зніюється мало. Тому і вітер перемістить вантаж з парашутом на меншу відстань, що приведе до незначного збільшення СКВ індивідуального розсіювання для вантажу.

Результати даної методики були використані в задачі розрахунку імовірності десантування особового складу (вантаж) на площадку заданих розмірів в науково-дослідній роботі поточного року.

ЛІТЕРАТУРА

1. Белоцерковский С.М., Ништ М.И., Пономарев А.Т., Рысев О.В. Исследование парашютов и дельтапланов на ЭВМ. М.: Машиностроение, 1987. 240 с.
2. Рысев О. В., Пономарев А.Т., Васильев М.И., Вишняк А.А., Днепров И.В., Мосеев Ю В. Парашютные системы. М.: Наука, 1996. 228 с.

Надійшла до редакції 31.10.2011