

УДК 629.734.7

В.А. Дмитрієв

Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, Феодосія

ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕКИ ПРИЗЕМЛЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ І ВАНТАЖІВ ПРИ ПАРАШУТНОМУ ДЕСАНТУВАННІ

В статті запропоновані показники, які визначають безпеку приземлення військової техніки і вантажів при парашутному десантуванні, та методика обґрунтування вимог до характеристик і умов застосування парашутних систем

Ключові слова: безпека, десантування, методика, парашутна система, перевантаження, показник, приземлення.

Вступ

Постановка проблеми. Приземлення військової техніки і вантажів (ВТВ) є одним із важливих та небезпечних етапів парашутного десантування (ПД). Саме благоприємне завершення цього етапу визначає успішність ПД у цілому, тобто можливість застосування військової техніки у бойових діях та використання вантажів за призначенням після доставки у заданий район. Багаторічна статистика свідчить, що більше 70% парашутних подій та інцидентів відбувається під час приземлення ВТВ. В той же час при розробці тактико-технічних вимог до парашутних систем (СП) недостатньо уваги приділяється обґрунтуванню вимог до технічних характеристик СП та інших засобів, які забезпечують безпеку приземлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз існуючих документів показує, що у тактико-технічних вимогах, тактико-технічних завданнях на розробку, технічних описах (керівництвах та інструкціях з експлуатації) засобів та систем для десантування ВТВ містяться такі характеристики, що забезпечують безпеку приземлення при ПД:

- середня вертикальна складова швидкості зниження перед приземленням (V_{yz}) при певній загальній масі ВТВ (m);
- максимально припустима швидкість вітру у землі (u);
- маса системи ПД (СПД) та маса ВТВ, для десантування якої вона призначена, або максимальна маса ВТВ, що може десантуватися (для універсальних СПД);
- мінімальна висота та діапазон швидкості польоту при десантуванні ВТВ з повітряного судна (ПС).

Безпосередньо безпеку приземлення визначають перші дві характеристики.

Останні дві створюють благоприємні умови забезпечення нормального (штатного) функціонування СПД перед приземленням.

Мета статті – обґрунтування показників безпеки приземлення ВТВ при парашутному десантуванні та розробка методики обґрунтування вимог до характеристик і умов застосування парашутних систем.

Основний матеріал

У загальному випадку власне ПД ВТВ є багатоступеневим (багатокаскадним) процесом та має наступні основні етапи:

- вільне падіння після відділення від повітряного судна (або рух з парашутом, що витягує ВТВ з вантажної кабіни повітряного судна та стабілізує його першепочаткове падіння);
- випуск гальмівного парашуту та рух з гальмуванням;
- випуск основного парашуту (одне- або багатопольного), подальше гальмування та зниження практично з постійною вертикальною швидкістю;
- зміна точки підвіски (перечеплення) основного парашуту для забезпечення посадкового положення ВТВ;
- введення в дію гальмівних двигунів м'якої посадки та зменшення вертикальної швидкості;
- приземлення.

Окремі етапи в залежності від типу та маси ВТВ, типу ПС для десантування можуть виключатися, також можуть бути застосовані додаткові етапи для забезпечення надійного функціонування СПД та збереження потрібного стану ВТВ.

Безпеку приземлення при нормальному (штатному) функціонуванні СПД в основному забезпечують останні чотири етапи, а найбільш важливим етапом є власне приземлення.

Вище було відмічено, що характеристики V_{yz} та u є визначальними, однак вимоги щодо їх встановлюються через зручність та простоту використання (вимірювання) у практиці випробувань та підготовки військ (сил). Насправді вони не відображають фізичної суті процесу дії навантаження на ВТВ при приземленні. Дійсний показник, який визначає безпеку ПД при приземленні, є сила, що діє на ВТВ.

Прийняв припущення, що процес приземлення ВТВ (від торкання поверхні землі до повного гальмування швидкості) можливо розглядати як непружне зіткнення, та що вертикальна вісь ВТВ перед торканням поверхні землі приймає положення за вектором швидкості, з закону збереження кількості руху та імпульсу тіла отримуємо:

$$F_{\text{п}} = \frac{mV_{\text{п}}}{t_{\text{п}}} + mg, \quad (1)$$

де $F_{\text{п}}$ – сила, що діє на ВТВ під час приземлення;
 m – сумарна маса ВТВ та елементів СПД, що залишилися на час приземлення;

$V_{\text{п}}$ – швидкість ВТВ в початковий момент приземлення;

$t_{\text{п}}$ – час дії сили;

g – прискорення вільного падіння.

Швидкість $V_{\text{п}}$ складається з векторної суми вертикальної швидкості ВТВ та швидкості вітру:

$$V_{\text{п}} = \sqrt{V_{\text{уз}}^2 + u^2}. \quad (2)$$

Прийняв, що шлях гальмування ВТВ після торкання поверхні землі рівне переміщенню центра тяжіння ($\Delta H_{\text{цт}}$), отримуємо:

$$\Delta H_{\text{цт}} = \frac{1}{2} V_{\text{п}} t_{\text{п}}. \quad (3)$$

З урахуванням (2) для виразу (1) отримуємо:

$$F_{\text{п}} = \frac{mV_{\text{п}}^2}{2\Delta H_{\text{цт}}} + mg. \quad (4)$$

Для подальшого аналізу доцільно перейти до безрозмірного показника сили, що діє на ВТВ, – перевантаження ($n_{\text{п}}$). При цьому формула (4) приймєть вигляд:

$$n_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}^2}{2g\Delta H_{\text{цт}}} + 1. \quad (5)$$

Графічно залежність $n_{\text{п}}$ від $V_{\text{п}}$ для різних $\Delta H_{\text{цт}}$ наведена на рис. 1.

Наочно бачимо, що перевантаження суттєво зростають при збільшенні швидкості приземлення та зменшенні величини переміщення центра тяжіння ВТВ. Таким чином, міцність ВТВ та його конструктивні особливості (можливість переміщення центру тяжіння) визначатимуть вимоги до конструкції СПД.

У зв'язку з тим, що наслідки дії перевантаження визначаються, крім її величини, ще й часом дії, доцільно уявити $n_{\text{п}}$ у вигляді залежності від часу приземлення ($t_{\text{п}}$) з урахуванням (3) та (5):

$$n_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}}{gt_{\text{п}}} + 1. \quad (6)$$

Графічно ця залежність наведена на рис. 2.

Як бачимо, перевантаження при зменшенні часу дії зростає, причому тем інтенсивніше, чим більше швидкість приземлення.

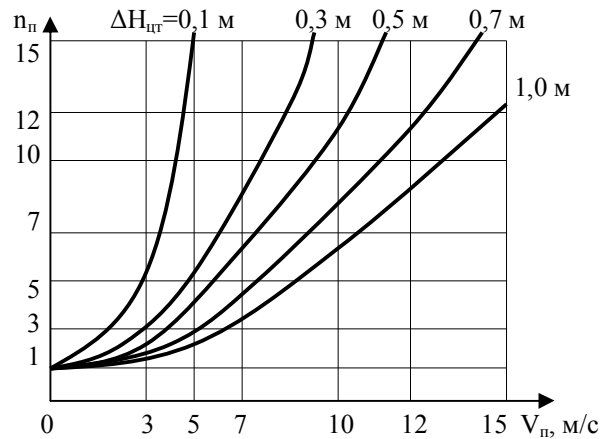


Рис. 1. Залежність перевантаження від швидкості приземлення та переміщення центра тяжіння

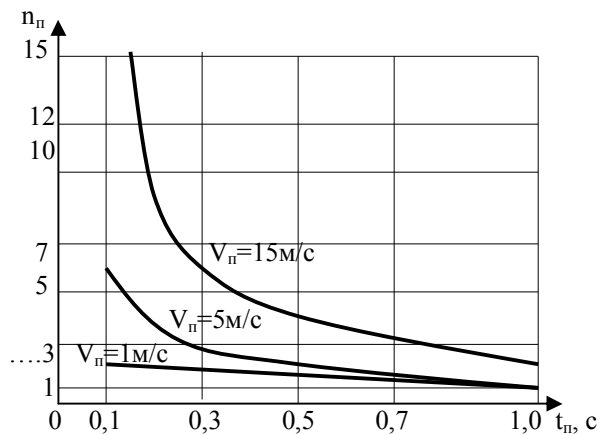


Рис. 2. Залежність перевантаження від часу його дії

Для повноти аналізу необхідно прийняти до уваги, що усе наведене вище відноситься до $F_{\text{п}}$ та $n_{\text{п}}$, які діють на усьому протязі шляху (часу) гальмування, тобто їх середніх значень. Дійсні значення навантаження змінюються за часом та можуть суттєво відрізнятися від середніх значень (рис. 3).

Очевидно, що площі прямокутника, обмеженого значеннями $n_{\text{п}}$ та $t_{\text{п}}$, та кривою $n_{\text{п}}=n_{\text{п}}(t_{\text{п}})$ рівні між собою, тобто

$$n_{\text{п}} t_{\text{п}} = \int_0^{t_{\text{п}}} n(t) dt. \quad (7)$$

Приймемо спрощену розрахункову схему зміни перевантаження за часом (рис. 4).

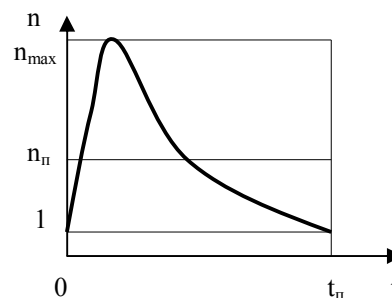


Рис. 3. Зміна дійсних перевантажень за часом

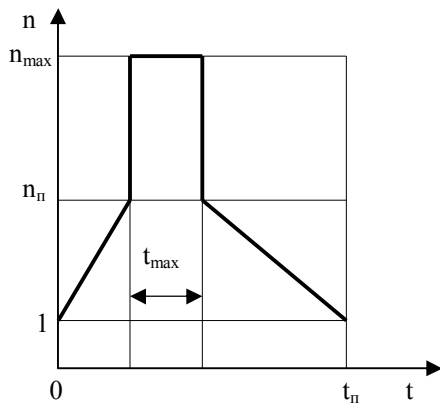


Рис. 4. Розрахункова схема зміни перевантаження за часом

Тоді вираз (7) можливо уявити у вигляді:

$$n_{\text{п}} t_{\text{п}} = (n_{\text{max}} - 1)t_{\text{max}} + \frac{1}{2}(n_{\text{п}} - 1) \times (t_{\text{п}} - t_{\text{max}}) + 1 \times t_{\text{п}}$$

або

$$(n_{\text{max}} - n_{\text{п}})t_{\text{max}} = \frac{1}{2}(n_{\text{п}} - 1)(t_{\text{п}} - t_{\text{max}}). \quad (8)$$

При цьому область застосування формули (8):

$$n_{\text{п}} \leq n_{\text{max}} < \frac{1}{2t_{\text{max}}}(n_{\text{п}} - 1)(t_{\text{п}} - t_{\text{max}}). \quad (9)$$

Введемо коефіцієнт часу дії максимального перевантаження k_t :

$$k_t = \frac{t_{\text{max}}}{t_{\text{п}}}, \quad 0 < k_t < 1, \quad (10)$$

та після перетворення формули (8) отримуємо:

$$n_{\text{max}} = n_{\text{п}} + 0,5(n_{\text{п}} - 1)\left(\frac{1}{k_t} - 1\right). \quad (11)$$

Графічно залежність n_{max} від $n_{\text{п}}$ для різних значень k_t наведена на рис. 5. Аналіз цієї залежності показує, що при збільшенні $n_{\text{п}}$ максимальне перевантаження зростає тим значніше, чим менше k_t .

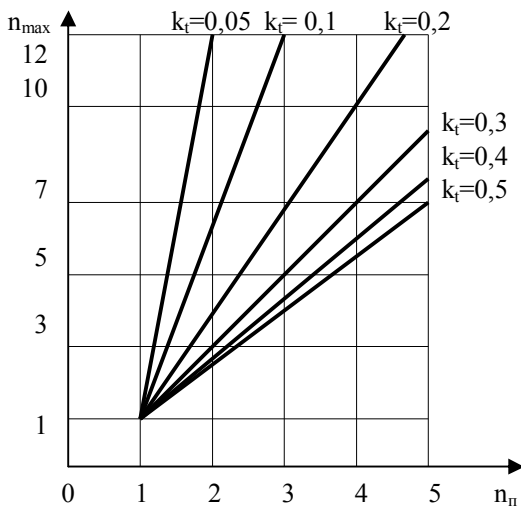


Рис. 5. Залежність максимального перевантаження від його середнього значення та коефіцієнту часу дії

Введемо коефіцієнт динамічності дії перевантаження:

$$k_d = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{п}}}, \quad k_d \geq 1. \quad (12)$$

Перетворюючи формулу (11) з урахуванням (12) отримуємо:

$$k_d = 1 + 0,5\left(1 - \frac{1}{n_{\text{п}}}\right)\left(\frac{1}{k_t} - 1\right). \quad (13)$$

Залежність k_d від k_t для різних значень $n_{\text{п}}$ наведена на рис. 6.

Як бачимо, k_d швидко зростає при зменшенні k_t і майже не залежить від середнього перевантаження при $k_t > (0,1 \dots 0,2)$.

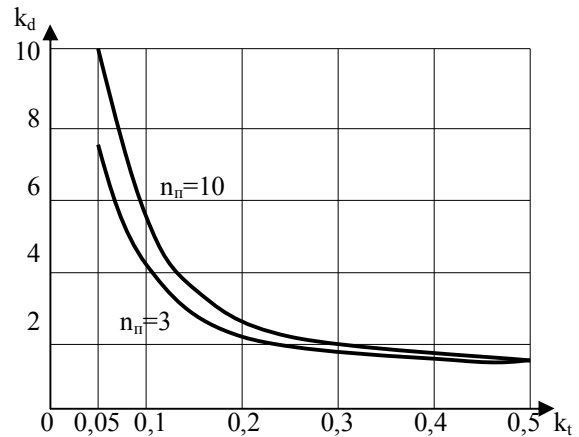


Рис. 6. Залежність коефіцієнту динамічності перевантаження від коефіцієнту часу дії

Здійснив перехід до введених безрозмірних коефіцієнтів, з формули (13) отримуємо:

$$n_{\text{п}} = \frac{1 - k_t}{1 - k_t(2k_d - 1)}; \quad (14)$$

$$n_{\text{max}} = \frac{k_d(1 - k_t)}{1 - k_t(2k_d - 1)}.$$

Область застосування формули (14) остаточно визначає діапазон змін коефіцієнтів:

$$0 < k_t < 1, \quad 1 \leq k_d < \frac{1}{2}\left(1 + \frac{1}{k_t}\right). \quad (15)$$

Область припустимих значень k_d наведена на рис. 7. Таким чином, для визначення вимог щодо безпеки приземлення ВТВ та відповідних їм характеристик і умов застосування СПД, достатньо задати два показники – середнє значення перевантаження, яке здатна витримати ВТВ без пошкодження на протязі дії 0,5-1,0 с, та коефіцієнт часу дії максимального перевантаження.

Для подальшого обґрунтування вимог до СПД необхідно визначитись, який засіб буде забезпечувати неперевищення перевантаження при приземленні: безпосередньо основний парашут або гальмівні двигуни м'якої посадки (інші засоби амортизації сили $F_{\text{п}}$).

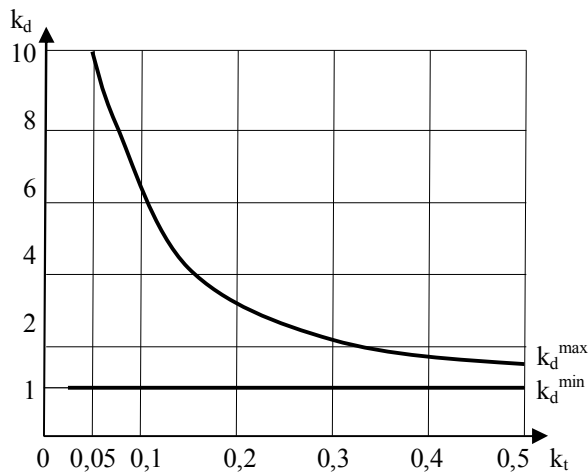


Рис. 7. Область припустимих значень коефіцієнту динамічності перевантаження

Вертикальний рух ВТВ при зниженні на основному парашуті описується рівнянням [1]:

$$(m_{\text{ВТВ}} + m_{\text{СП}})g = \frac{\rho V_{\text{ЗН}}^2}{2} (c_{\text{ВТВ}} S_{\text{ВТВ}} + c_{\text{СП}} S_{\text{СП}}), \quad (16)$$

де $m_{\text{ВТВ}}$ та $m_{\text{СП}}$ – маса ВТВ та СП відповідно;
 ρ – щільність повітря;
 $V_{\text{ЗН}}$ – швидкість зниження системи "ВТВ-СП";
 $c_{\text{ВТВ}}$ та $c_{\text{СП}}$ – коефіцієнт опору ВТВ та СП відповідно;
 $S_{\text{ВТВ}}$ та $S_{\text{СП}}$ – площі мідельного перерізу ВТВ та СП відповідно.

Прийняв припущення, що $c_{\text{ВТВ}} S_{\text{ВТВ}} \ll c_{\text{СП}} S_{\text{СП}}$ (інакше необхідність у застосуванні СП відсутня), та прийняв середнє значення співвідношення $m_{\text{СП}} \approx 0,2 S_{\text{СП}}$ (з діапазону 0,1...0,3, отриманого на підставі емпіричних та статистичних даних), з формули (16) отримуємо:

$$m_{\text{ВТВ}} + m_{\text{СП}} = \frac{5\rho V_{\text{ЗН}}^2}{2g} c_{\text{СП}} S_{\text{СП}}. \quad (17)$$

Введемо безрозмірний коефіцієнт маси СП:

$$k_{\text{СП}} = \frac{m_{\text{СП}}}{m_{\text{ВТВ}}} \quad (18)$$

та перетворімо формулу (17):

$$k_{\text{СП}} = \frac{2g}{5\rho V_{\text{ЗН}}^2 c_{\text{СП}} - 2g}. \quad (19)$$

Визначимо область застосування формули (19):

$$5\rho V_{\text{ЗН}}^2 c_{\text{СП}} - 2g > 0 \quad (20)$$

або

$$V_{\text{ЗН}} > \sqrt{\frac{2g}{5\rho c_{\text{СП}}}}$$

та побудуємо графік залежності $k_{\text{СП}}$ від $V_{\text{ЗН}}$ (рис. 8) в умовах стандартної атмосфери у поверхні землі з урахуванням $c_{\text{СП}}=0,8$ (для круглих куполів, [1]).

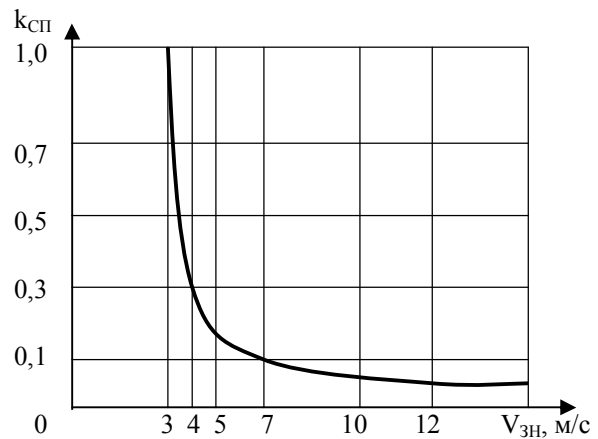


Рис. 8. Залежність коефіцієнту маси СП від швидкості зниження

Аналіз отриманих даних свідчить, що основну СП безпосередньо для забезпечення приземлення при швидкості менше 3...4 м/с недоцільно через її велику масу (більше 50% маси ВТВ, що десантується).

Тому у випадках, коли військова техніка і вантажі не розрахована на витримування перевантаження більше 2,5...3 одиниць (звичайна військова техніка, чутливі до перевантаження вантажі), необхідно передбачати в конструкції СПД гальмівні двигуни м'якої посадки або інші засоби амортизації, які сприймають дію перевантаження та збільшують шлях гальмування військової техніки і вантажів при приземленні.

Методика обґрунтування характеристик та умов застосування СПД полягає у наступному.

1. Задати значення $n_{\text{п}}$ та $k_{\text{т}}$.
2. За значеннями $n_{\text{п}}$ та $k_{\text{т}}$ по формулам (13, 12 або 11) визначити $k_{\text{д}}$ та $n_{\text{макс}}$. Перевірити спроможність військової техніки і вантажів витримати без неприпустимих деформацій та пошкоджень дію $n_{\text{макс}}$.
3. Визначити безпечну швидкість приземлення з формули (5):

$$V_{\text{п}} = \sqrt{2gH_{\text{цт}}(n_{\text{п}} - 1)}. \quad (21)$$

4. З формули (2) визначити швидкість приземлення, яку повинна забезпечити СП при різних значеннях швидкості вітру:

$$V_{\text{вз}} = \sqrt{V_{\text{п}}^2 - u^2}. \quad (22)$$

5. Побудувати графік залежності $V_{\text{вз}}=V_{\text{вз}}(u)$.
6. Вибрати за графіком відповідні один одному значення вертикальної складової швидкості приземлення, яку повинна забезпечити СП, та умови її застосування за швидкістю вітру.

7. При $V_{\text{вз}} \leq 4$ м/с відвинути вимогу щодо наявності в конструкції СПД гальмівних двигунів або інших засобів амортизації сили удару ВТВ при приземленні.

Висновки

1. За результатами дослідження обґрунтовані показники, які визначають вимоги щодо безпеки приземлення ВТВ та відповідних їм характеристик і умов застосування СПД – середнє значення перевантаження при приземленні та коефіцієнт часу дії максимального перевантаження.

2. Запропонована методика визначення характеристик та умов застосування СПД, при яких забезпечується безпека приземлення ВТВ при парашутному десантуванні.

Список літератури

1. Иванов П.И. Летные испытания парашютных систем. – Феодосия: КП "Гранд-С", 2001. – 332 с.

Надійшла до редколегії 8.08.2013

Рецензент: канд. техн. наук, ст. наук. співр. А.В. Тимошенко, Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, Феодосія.

ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИЗЕМЛЕНИЯ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ И ГРУЗОВ ПРИ ПАРАШЮТНОМ ДЕСАНТИРОВАНИИ

В.А. Дмитриев

Рассматриваются показатели, определяющие безопасность приземления военной техники и грузов при парашютном десантировании, и методика обоснования требований к характеристикам и условиям применения парашютных систем.

Ключевые слова: безопасность, десантирование, методика, парашютная система, перегрузка, показатель, приземление.

THE SUBSTANTIATION OF INDICATORS OF SAFETY OF MILITARY EQUIPMENT AND CARGO PARACHUTE AIRDROP LANDING

V.A. Dmytriev

The indicators, which determine the safety of military equipment and cargo military equipment and cargo parachute airdrop landing and methods of substantiation of requirements to the characteristics of parachute systems using are considered in the article.

Keywords: security, landing, methodology, parachute system, overload indicator, when grounding.