В.М. Петров, А.А. Шалигін, А.Ф. Кудрявцев

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПРИЦІЛЮВАННЯ ДЛЯ СКИДАННЯ ВІЛЬНОПАДАЮЧИХ ВАНТАЖІВ З БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

У статті з використанням теорії та практики бойового застосування авіаційних засобів ураження пілотованими літальними апаратами розглядається методичний підхід до рішення задачі прицілювання для автоматизованого скидання вільнопадаючих вантажів з безпілотних літальних апаратів. Під вільнопадаючими вантажами розуміються матеріально-технічні засоби, що доставляються (скидаються) військам безпарашутним способом, та некеровані авіаційні бомби при прицільному бомбометанні для ураження об'єктів противника. У загальному вигляді завдання прицілювання полягає у виведенні безпілотного літального апарату в розрахункову точку простору, при скиданні з якої забезпечується влучення вільнопадаючого вантажу у задану точку (ціль) земної поверхні. У методичному підході, що пропонується, точка скидання вантажу розраховується з урахуванням фактичних параметрів польоту безпілотного літального апарату, що міняються: напрямку заходу, висоти і швидкості скидання, напрямку і швидкості вітру, балістичних характеристик вантажу.

Ключові слова: авіаційна бомба, вільно падаючий вантаж, параметр скидання, координати точки падіння вантажу, балістичні функції вантажу.

Вступ

Постановка проблеми. В останні десятиліття у збройних силах провідних країн світу почали використовуватися не лише розвідувальні і ударні безпілотні літальні апарати (БпЛА), а створені і отримують подальший розвиток також транспортні БпЛА. Особливо актуальним використання транспортних БпЛА стає для матеріально-технічного забезпечення (МТЗ) частин і підрозділів сухопутних військ, що знаходяться у відриві від основних сил (у зв'язку з відсутністю ризику втрат дорогих пілотованих літальних апаратів (ЛА) і льотного складу) [1–9]. Перспективним способом доставки засобів МТЗ з точки зору подолання протиповітряної оборони (ППО) противника є безпарашутний спосіб шляхом скидання вільнопадаючих вантажів (ВПВ), що не бояться ударів, з малих висот і швидкостей польоту БпЛА [1–9]. Вільнопадаючими вантажами також являються і некеровані авіаційні бомби (АБ). Для точного скидання (бомбометання) таких вантажів (АБ або засобів МТЗ) у задану точку необхідно вирішувати задачу прицілювання. У загальному вигляді задача прицілювання полягає у виведенні БпЛА в розрахункову точку, при скиданні з якої забезпечується влучення ВПВ в задану точку (ціль). Точка скидання вантажу повинна розраховуватися з урахуванням фактичних параметрів польоту, які змінюються: напрямку заходу БпЛА, висоти і швидкості скидання, напрямку і швидкості вітру, балістичних характеристик вантажу (його маси і форми) [10].

Мета статті. На основі використання теорії та практики бойового застосування авіаційних засобів ураження пілотованими ЛА розглянути методичний підхід до рішення задачі прицілювання при скиданні ВПВ з БпЛА.

Викладення основного матеріалу

Рішення задач навігації та прицілювання при скиданні ВПВ пропонується здійснювати з використанням горизонтальної необротальної системи координат $O\eta\xi\zeta$ та горизонтальної обертальної курсової системи координат $OXYZ$ (рис. 1). У прямокутній горизонтальній необротальній системі координат початок знаходиться на БпЛА, вісь η є початком ортодромічного курсу (ψ) в інерціальній системі і спрямована по дотичній до ортодромічної паралелі, вісь ζ перпендикулярна осі η в площині горизонту і спрямована по ортодромічному меридіану, вісь ξ спрямована по місцевій вертикалі вгору. Ця система координат при польоті БпЛА зберігає незмінну орієнтацію осей відносно площини меридіану точки виставки інерціальної системи БпЛА. У прямокутній обертальній курсовій системі координат початок співпадає з центром мас БпЛА, вісь X спрямована горизонтально у площині симетрії БпЛА, вісь Y – вертикально вгору по геоцентричній або місцевій вертикалі, вісь Z – управо по нормалі до осі X і розташовується у горизонтальній площині. Положення точки скидання ВПВ (потрібні координати) розра-

ховується у бортовій цифровій обчислювальній системі (БЦОС) БпЛА відносно цілі [10–13].

Рис. 1. Прямокутні системи координат, що використовуються при рішенні задачі прицілювання

Зчислення поточних координат БпЛА здійснюється інерціальною системою з використанням рівнянь числення шляху [11–13]:

$$\begin{aligned}\xi &= \xi_0 + \int_0^t W_\xi dt; \\ \eta &= \eta_0 + \int_0^t W_\eta dt,\end{aligned}\quad (1)$$

де ξ , η – поточні координати БпЛА у горизонтальній необротальній системі координат;

ξ_0 , η_0 – початкові координати БпЛА, звідки починається числення шляху інерціальною системою;

W_ξ , W_η – швидкості зміни координат БпЛА.

Перерахунок поточних координат БпЛА з прямокутної необротальної системи координат в обертальну здійснюється по формулах:

$$\begin{aligned}x &= \eta \cos \psi + \xi \sin \psi, \\ z &= \eta \sin \psi + \xi \cos \psi,\end{aligned}\quad (2)$$

де ψ – ортодромічний курс польоту БпЛА.

Очевидно, що при цьому для поточної координати виконується умова:

$$y = \zeta = H, \quad (3)$$

де H – висота польоту БпЛА.

Потрібна точка скидання ВПВ визначається вектором віднесення вантажу, який обчислюється залежно від умов польоту БпЛА (швидкості та висоти) і балістики вантажу (яка залежить, у свою чергу, від маси і форми ВПВ). Вивід БпЛА у точку скидання здійснюється шляхом прицілювання по відстані та напрямку [13].

Прицілювання по відстані полягає у визначенні моменту скидання ВПВ шляхом безперервного порівняння поточної і потрібної подовжньої координати

цілі (заданої точки (ЗТ) падіння вантажу) і обчислення параметру скидання (рис. 2):

$$P = X_u - X_n, \quad (4)$$

де P – параметр скидання ВПВ;

X_u – поточна подовжня координата цілі (ЗТ падіння вантажу), обчислюється безперервно ПНС БпЛА, уточнюється при корекції координат. По незапрограмованій цілі її координати задаються оператором (зовнішнім пілотом) БпЛА;

X_n – потрібна подовжня координата цілі (ЗТ падіння вантажу). Обчислюється БЦОС БпЛА по поточним (змінним) параметрам його польоту.

Рис. 2. Схема прицілювання БпЛА по відстані

При досягненні поточної подовжньої координати цілі (ЗТ падіння вантажу) значення потрібної подовжньої координати ($X_u = X_n$), тобто при

$$P = 0 \quad (5)$$

прицілювання по відстані вважається виконаним.

Потрібна подовжня координата цілі X_n (подовжнє віднесення ВПВ A_x) розраховується за виразом:

$$X_n = A_x = A_0 + U_x T + \frac{L_x}{2}, \quad (6)$$

де A_0 – штильове віднесення ВПВ;

T – час падіння ВПВ з істинної висоти скидання;

U_x – подовжня складова швидкості вітру, визначається інерціальною системою БпЛА;

L_x – довжина серії скидання ВПВ.

Подовжня складова швидкості вітру визначається як:

$$U_x = W_x - V, \quad (7)$$

де W_x – подовжня складова шляхової швидкості польоту БпЛА при скиданні ВПВ, визначається БЦОС БпЛА;

V – істинна швидкість польоту БпЛА при скиданні ВПВ.

В БЦОС БпЛА балістичні функції (Δ і T) можуть бути визначені шляхом апроксимації їх табличних значень по поточних значеннях висоти (H) та швидкості (V) БпЛА і характеристичного часу (Θ) ВПВ. Для ВПВ балістичні функції у вигляді часу падіння (T) та відставання (Δ) наводяться у відповідних таблицях ("Балістичні таблиці БТ-64"). Тобто балістичні функції ВПВ при скиданні їх з горизонтального польоту мають залежність, яка у загальному вигляді записується як:

$$\begin{aligned} T &= T(H, V, \theta), \\ \Delta &= \Delta(H, V, \theta), \end{aligned} \quad (8)$$

де Δ – відставання ВПВ від БпЛА.

Для ВПВ значення штильового віднесення визначається як:

$$A_0 = VT - \Delta. \quad (9)$$

З врахуванням (6; 8) потрібна подовжня координата цілі може бути визначена за виразом:

$$X_n = A_x = W_x T - \Delta + \frac{L_x}{2}. \quad (10)$$

Для різних ВПВ (крім АБ) балістичні функції (T , Δ) можуть визначатись досвідним шляхом (у полігонних умовах) шляхом виміру характеристичного часу (θ) стандартного ВПВ встановленої маси. Характеристичний час уявляє собою час падіння АБ (ВПВ встановленої маси), скинутої з горизонтального польоту з висоти 2000 м на швидкості 40 м/с (144 км/год) в умовах стандартної атмосфери. Для характеристичного часу $\theta \leq 22$ сек він може визначатись за виразом:

$$\theta = 20,202 + 1,68 c, \quad (11)$$

де c – балістичний коефіцієнт ВПВ, $\text{м}^2/\text{кг}$.

Балістичний коефіцієнт ВПВ визначається як:

$$c = \frac{id^2}{m} 10^3, \quad (12)$$

де i – коефіцієнт форми ВПВ;

d – найбільший діаметр ВПВ, м;

m – маса ВПВ, кг.

Коефіцієнт форми ВПВ визначається:

$$i = \frac{C_x(M \leq 0,4)}{C_{xe}(M \leq 0,4)}, \quad (13)$$

де $C_x(M \leq 0,4)$ – коефіцієнт опору ВПВ при швидкості польоту БпЛА на $M \leq 0,4$ (для стандартного ВПВ визначається досвідним шляхом при обдуванні в аеродинамічній трубі на швидкості $M \leq 0,4$);

$C_{xe}(M \leq 0,4)$ – еталонний коефіцієнт опору ВПВ при швидкості польоту БпЛА на $M \leq 0,4$. Визначається по графіку, що приводиться на рис. 3.

Коефіцієнт опору ВПВ залежить не тільки від швидкості польоту БпЛА (числа M польоту), але і від геометричної форми ВПВ, якості обробки його поверхні. Для кожного ВПВ існує своя залежність коефіцієнта опору від числа M . Одну з кривих залежності $C_{xe}(M)$, для прийнятої в якості еталонної АБ, назвали законом опору АБ-63 (рис. 3).

Рис. 3. Закон опору АБ-63

Отримання значення $C_x(M)$ для кожного типу ВПВ (АБ) для будь-якої швидкості польоту БпЛА виконується за формулою:

$$C_x(M) = i C_{xe}(M). \quad (14)$$

Параметри руху (падіння) ВПВ у прямокутній обертальній курсовій системі координат (рис. 1) можуть бути визначені рішенням диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= -c \rho_H F(M) \cos \lambda, \\ \ddot{y} &= g_0 - c \rho_H F(M) \sin \lambda, \end{aligned} \quad (15)$$

де ρ_H – масова щільність повітря на висоті, $\text{кг с}^2/\text{м}^4$;

$F(M)$ – функція опору повітря в залежності від числа Маха;

λ – кут нахилу вектору швидкості ВПВ до лінії горизонту;

g_0 – прискорення сили тяжіння на рівні моря ($g_0 = 9,80665 \text{ м/с}^2$).

Функція опору повітря визначається:

$$F(M) = \frac{\pi g}{8} 10^{-3} V^2 C_{xe}(M), \quad (16)$$

де $\pi = 3,14$ – математична постійна;

g – прискорення сили тяжіння на висоті скидання вантажу, розраховується:

$$g = \frac{g_0 R_3^2}{(R_3 + H)^2}, \quad (17)$$

де $R_3 = 6371210$ м – радіус земної кулі;

H – висота скидання ВПВ відносно цілі.

Кут нахилу вектору швидкості ВПВ до лінії горизонту визначається за виразом:

$$\lambda = \arctg \frac{\sqrt{2g_0 y}}{V_0}, \quad (18)$$

де y – поточне значення координати по вісі ОУ (висоти) ВПВ.

Рішення задачі балістики шляхом інтегрування диференціальних рівнянь руху ВПВ може забезпечити найбільш високу точність визначення балістичних функцій, оскільки воно виконується з урахуванням фактичних умов польоту. Інтегрування здійснюється послідовними обчисленнями значень змінних $v_{xi}, v_{yi}, x_i, y_i, v_i, t_i$ та їх приростів $\Delta v_{xi}, \Delta v_{yi}, \Delta x_i, \Delta y_i, \Delta v_i, \Delta t_i$ для i -го кроку інтегрування. У такому випадку значення часу падіння T та віднесення вантажу A визначаються за виразами:

$$T = t_{i+1} + \frac{y_{i+1}}{\Delta y} \Delta t, \quad (19)$$

$$A_x = x_{i+1} + \frac{y_{i+1}}{\Delta y} \Delta x.$$

При цьому приріст змінних $\Delta x, \Delta y, \Delta t$ відповідно визначаються як:

$$\begin{aligned} \Delta x &= x_{i+1} - x_i, \\ \Delta y &= y_{i+1} - y_i, \\ \Delta t &= t_{i+1} - t_i, \\ t_i &= \sum_1^i \Delta t_j, \end{aligned} \quad (20)$$

де Δt_j – шаг інтегрування.

Довжина серії скидання вантажів (L_x) розраховується у БЦОС ЛА в залежності від завантаження балочних утримувачів ВПВ, режимів їх скидання та значення лінійного інтервалу між вантажами. Для однозамкових балочних утримувачів:

$$L_x = (n-1)\ell, \quad (21)$$

де n – кількість утримувачів на БпЛА;

ℓ – лінійний інтервал між ВПВ.

Для багатозамкових балочних утримувачів довжина серії розраховується за виразом:

$$L_x = [\ell(n-1)t_2 + (N-1)t_1] W_x, \quad (22)$$

де N – кількість ВПВ;

t_1 – часовий інтервал розвантаження ВПВ на утримувачі;

t_2 – часовий інтервал розвантаження ВПВ між утримувачами.

Запропонований метод визначення параметрів падіння ВПВ шляхом рішення диференціальних рівнянь (15) є універсальним, не потребує попередніх робіт по виміру умовного характеристичного часу конкретного ВПВ.

Визначення балістичних функцій (параметрів падіння) для кожного типу ВПВ визначеної маси і форми здійснюється заздалегідь одним з запропонованих способів. Їх значення можуть заноситися у базу даних (БД) БпЛА. В польоті по поточним значенням істинної висоти та швидкості польоту БпЛА (H, V) для заданого значення характеристичного часу стандартного ВПВ (θ) з БД вибираються значення часу падіння та відставання вантажу (8), по яким безперервно виконується розрахунок прицільних даних.

Завдання прицілювання по напрямку полягає у виконанні бічного наведення – підборі курсу польоту БпЛА, який забезпечує проходження лінії падіння вантажів через задану точку (ціль) (рис. 4).

Рис. 4. Загальна схема прицілювання БпЛА

Для цього у БЦОС БпЛА обчислюється параметр управління:

$$q = Z_u - Z_n, \quad (23)$$

де q – параметр управління БпЛА;

Z_u – поточна бічна координата цілі (ЗТ падіння вантажу). Обчислюється безперервно БЦОС БпЛА, уточнюється при корекції координат. По незапрограмованій цілі координати задаються оператором, (зовнішнім пілотом) БпЛА;

Z_n – потрібна бічна координата цілі (ЗТ падіння вантажу).

Оскільки $U_z = W_z$, потрібна бічна координата цілі розраховується за виразом:

$$Z_n = A_z = W_z \left(T + \frac{X_u - X_n}{W_x} \right), \quad (24)$$

де U_z – бічна складова швидкості вітру;

W_z – бічна складова шляхової швидкості польоту БпЛА, обчислюється безперервно його БЦОС.

Потрібна бічна координата цілі (Z_u) обчислюється у БЦОС залежно від умов польоту БпЛА і характеристик ВПВ. Прицілювання по напрямку вважається виконаним, якщо поточна бічна координата цілі (ЗТ падіння вантажу) відповідає потрібній бічній координаті, тобто параметр управління дорівнює нулю:

$$q = 0. \quad (25)$$

До точки скидання БпЛА повинен слідувати з виконаним бічним наведенням. Сигнал скидання ВПВ подається при досягненні параметру скидання нульового значення (4).

Тобто завдання прицілювання для скидання ВПВ вважається вирішеним, якщо пілотуванням БпЛА досягнуто таке його положення у просторі, при якому:

$$\begin{aligned} q &= 0, \\ P &= 0. \end{aligned} \quad (26)$$

Точність прицілювання та влучення ВПВ у ЗТ буде залежати від точності зчислення координат, можливості та точності їх корекції.

Висновки

Таким чином, рішення задачі прицілювання для скидання ВПВ зводиться до розрахунку потрібних подовжніх і бічних координат, що забезпечують влучення вантажів у задану точку та визначення моменту скидання шляхом порівняння їх з поточними подовжніми і бічними координатами (відстанями) БпЛА до заданої точки падіння вантажу, положення якої в просторі може задаватися координатами або вказуватися оператором на цифровій карті або безпосередньо на місцевості за допомогою візирного пристрою, який може бути телевізійним (лазерним), радіолокаційним або інфрачервоним.

Список літератури

1. Воронов В.В. Беспилотные авиасистемы для грузоперевозок: оценка разработок (часть 2) [Електронний ресурс] / В.В. Воронов. – Режим доступу: <http://www.ato.ru/content/bespilotnye-aviasistemy-dlya-gruzoperevozok-ocenka-razrabotok-chast-2>.
2. US Marines extend K-MAX unmanned helicopter's use in Afghanistan, Reuters [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу: <https://www.reuters.com/article/lockheed-unmanned-helicopter/us-marines-extend-k-max-unmanned-helicopters-use-in-afghanistan-idUSL1N0C603420130317>.
3. Mistake Slows K-46 Timetable | MINUSMA Takes Delivery of Tatas | K-Max Set to Pass ARES, AACUS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.defenseindustrydaily.com/mistake-slows-k-46-timetable-minusma-takes-delivery-of-tatas-k-max-set-to-pass-ares-aacus-030593>.
4. James A. Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011-2036 US / A. James, F. Kendall [Електронний ресурс]. – Department of Defense. – Режим доступу: <https://fas.org/irp/program/collect/usroadmap2011.pdf>.
5. Drones: military weapons, surveillance or mapping tools for environmental monitoring? The need for legal framework is required [Електронний ресурс] / Alessia Vacca et al. // Transportation Research Procedia. – 2017. – No. 25. – P. 51-62. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/317421629_Drones_military_weapons_surveillance_or_mapping_tools_for_environmental_monitoring_The_need_for_legal_framework_is_required.
6. James A. Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2013-2038 [Електронний ресурс] / A. James, F. Kendall. – Washington, D.C.: Department of Defense, 2014. – Режим доступу: <http://www.defense.gov/pubs/DOD-USRM-2013.pdf>.
7. McDonald Jr. James Franklin. Critical Technologies: The United States Department of Defense Efforts to Shape Technology Development after the Cold War – A Discourse and Network Analysis / McDonald Jr. James Franklin. – [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу: <http://hdl.handle.net/10919/56625>.
8. Murray C. U China's Military Unmanned Aerial Vehicle Industry [Електронний ресурс] / C. Murray, J. Cook, A. Feld. – June 13, 2013. – Режим доступу: https://www.uscc.gov/sites/default/files/Research/China's%20Military%20UAV%20Industry_14%20June%202013.pdf.
9. Алімпієв А.М. Тактика транспортної авіації. Ч. 2. Бойове застосування підрозділів транспортної авіації / А.М. Алімпієв, Ю.М. Корнусь, С.А. Калкаманов. – Х.: ХНУПС, 2017. – 116 с.
10. Прицельно-навигационные комплексы летательных аппаратов / Под ред. Ю.В. Косюка. – М.: Воениздат, 1982. – 285 с.
11. Романовский А.П. Применение геотехнических средств воздушной навигации / А.П. Романовский, Ю.А. Матвеев, Е.П. Ремятников. – М.: Воениздат, 1992. – 304 с.
12. Августов Л.И. Навигация летательных аппаратов в околоземном пространстве / Л.И. Августов, А.В. Бабиченко; Под ред. Г.И. Джангжава. – М.: Научтехиздат, 2015. – 592 с.
13. Сафонов Л.Г. Боевое применение авиационных средств поражения. Часть I. Основы бомбометания / Л.Г. Сафонов, М.Я. Юдовкин, Н.С. Горшков; Под ред. А.И. Шабунина. – М.: Воениздат, 1988. – 192 с.

References

1. Voronov, V.V. (2018), "Bespilotnye aviasistemy dlya gruzoperevozok: ocenka razrabotok (chast 2)" [Unmanned Aircraft Systems for Cargo Transportation: Development Assessment (Part 2)], available at: www.ato.ru/content/bespilotnye-aviasistemy-dlya-gruzoperevozok-ocenka-razrabotok-chast-2.
2. Reuters (2013), *US Marines extend K-MAX unmanned helicopter's use in Afghanistan*, available at: <https://www.reuters.com/article/lockheed-unmanned-helicopter/us-marines-extend-k-max-unmanned-helicopters-use-in-afghanistan-idUSL1N0C603420130317>.
3. Defense industry daily (2015), *Mistake Slows K-46 Timetable | MINUSMA Takes Delivery of Tatas | K-Max Set to Pass ARES, AACUS*, available at: <https://www.defenseindustrydaily.com/mistake-slows-k-46-timetable-minusma-takes-delivery-of-tatas-k-max-set-to-pass-ares-aacus-030593>.
4. James, A. and Kendall, F. (2011), *Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011-2036*, US Department of Defense, available at: <https://fas.org/irp/program/collect/usroadmap2011.pdf>.
5. Vacca, A. (2017), Drones: military weapons, surveillance or mapping tools for environmental monitoring? The need for legal framework is required, *Transportation Research Procedia*, No. 25, pp. 51-62, available at: https://www.researchgate.net/publication/317421629_Drones_military_weapons_surveillance_or_mapping_tools_for_environmental_monitoring_The_need_for_legal_framework_is_required.
6. James, A. and Kendall, F. (2014), *Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2013-2038*, Department of Defense, Washington, D.C., available at: www.defense.gov/pubs/DOD-USRM-2013.pdf.
7. McDonald Jr. James Franklin (2014), *Critical Technologies: The United States Department of Defense Efforts to Shape Technology Development after the Cold War – A Discourse and Network Analysis*, available at: www.hdl.handle.net/10919/56625.
8. Murray, C., Cook, J. and Feld, A. (2013), *China's Military Unmanned Aerial Vehicle Industry*, available at: https://www.uscc.gov/sites/default/files/Research/China's%20Military%20UAV%20Industry_14%20June%202013.pdf.
9. Alimpiiev, A.M., Kornus, Yu.M. and Kalkamanov, S.A. (2017), "Taktyka transportnoi aviatsii. Ch. 2. Boiove zastosuvannia pidrozdiliv transportnoi aviatsii" [Transport aviation tactics. Part 2. Combat use of transport aviation units], KNAFU, Kharkiv, 116 p.
10. Kosiuk, Yu.V. (1982), "Pricelno-navigacionnye komplekсы letatelnykh apparatov" [Aiming and navigation systems of aircraft], Military Publishing House, Moscow, 285 p.
11. Romanovskiy, A.P., Matveev, Yu.A. and Remiannykov, E.P. (1992), "Prymeneniye geotekhnicheskikh sredstv vozdukhnoi navyazhatsy" [The Use of Geotechnical Aerial Navigation Tools], Military Publishing House, Moscow, 304 p.
12. Avhustov, L.Y. and Babychenko, A.V. (2015), "Navigatsiya letatelnykh apparatov v okolozemnom prostranstve" [A navigation of aircrafts is in circumterrestrial space], Nauchtekhizdat, Moscow, 592 p.
13. Safonov, L.G., Yudovkin, M.Ya. and Gorshkov, N.S. (1988), "Boevoe primeneniye aviacionnykh sredstv porazheniya. Chast I. Osnovy bombometaniya" [Combat use of aviation weapons. Part I. Bombing Basics], Military Publishing House, Moscow, 192 p.

Надійшла до редколегії 03.02.2020

Схвалена до друку 12.03.2020

Відомості про авторів:

Петров Василь Миколайович

кандидат військових наук
старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4324-7540>

Шалигін Андрій Анатолійович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідної лабораторії
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1828-2443>

Кудрявцев Андрій Федорович

науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0319-6681>

Information about the authors:

Vasyl Petrov

Candidate of Military Sciences
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4324-7540>

Andrii Shalyhin

Candidate of Technical Sciences
Senior Research
Chief of Scientific Research Laboratory
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1828-2443>

Andrii Kudriavtsev

Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0000-0319-6681>

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПРИЦЕЛИВАНИЯ ДЛЯ СБРОСА СВОБОДНОПАДАЮЩИХ ГРУЗОВ ИЗ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.Н. Петров, А.А. Шалыгин, А.Ф. Кудрявцев

В статье с использованием теории и практики боевого применения авиационных средств поражения пилотируемые летательными аппаратами рассматривается методический подход к решению задачи прицеливания для автоматизированного сброса свободнопадающих грузов из беспилотных летательных аппаратов. Под свободнопадающими грузами понимаются материально-технические средства, доставляемые (сбрасываемые) войскам беспарашютным способом, а также неуправляемые авиационные бомбы при прицельном бомбометании для поражения объектов противника. В общем виде задача прицеливания заключается в выведении беспилотного летательного аппарата в расчетную точку, при сбросе из которой обеспечивается попадание свободнопадающего груза в заданную точку (цель). В предлагаемом методическом подходе точка сброса груза рассчитывается с учетом меняющихся фактических параметров полета беспилотного летательного аппарата: направления захода, высоты и скорости сброса, направления и скорости ветра, баллистических характеристик груза.

Ключевые слова: авиационная бомба, свободнопадающий груз, параметр сброса, координаты точки падения груза, баллистические функции груза.

METHODICAL APPROACH TO THE SOLUTION OF THE OBJECTIVE OF THE AIM FOR DISCHARGE OF FREELY FALLING GOODS FROM UNMANNED AIRCRAFT

V. Petrov, A. Shalyhin, A. Kudriavtsev

In the article using the theory and practice of the combat use of aircraft by means of destruction by manned aircraft and ballistics of aircraft bombs, a methodological approach to solving the aiming problem for the automated discharge of free-falling goods from unmanned aerial vehicles is considered. Free-falling goods means material and technical means delivered (dropped) to troops by a non-parachute method, as well as unguided aerial bombs with targeted bombing to destroy enemy targets.

In general, the aiming task is to bring an unmanned aerial vehicle to the calculated point, when dumping from it, a free-falling load will be hit at a given point (target). The unmanned aerial vehicle is brought to the discharge point by solving the aiming problem in range and direction. Range aiming consists in determining the moment of dumping of a freely falling load by continuously comparing the current and required longitudinal coordinates of the target (a given point of incidence of the load) and calculating the dumping parameter. The current coordinates (longitudinal and lateral) are determined by their continuous reckoning by the inertial system using well-known equations. The required longitudinal coordinate (longitudinal relative load) is calculated according to a certain algorithm depending on the ballistic functions of the load, the actual flight parameters of the unmanned aerial vehicle and atmospheric conditions. Ballistic functions in the form of lag and fall time of a load can be determined by two methods: by approximating their tabular values from the actual values of the altitude and flight speed of an unmanned aerial vehicle and the characteristic time of falling of a load or by solving differential equations. The proposed method for determining the ballistic functions of a specific load by solving differential equations is universal, does not require preliminary work to calculate its characteristic fall time. The characteristic fall time is the fall time of the load of the installed standard mass dropped from horizontal flight in a standard atmosphere at a certain altitude and flight speed of the aircraft.

The task of aiming in the direction is to perform lateral guidance - the selection of the flight path of the unmanned aerial vehicle, which ensures the passage of the line of incidence of goods through a given point (target). In the computer system of an unmanned aerial vehicle, a control parameter for this is indicated by comparison. The moment of discharge is determined when the current longitudinal coordinate of the target is equal to the longitudinal component of the load relative to the preliminary lateral guidance of the unmanned aerial vehicle.

In the methodological approach that is proposed, the drop-off point of the free-falling cargo is calculated taking into account the changing actual flight parameters of the unmanned aerial vehicle: direction of approach, height and speed of discharge, direction and speed of the wind, ballistic functions of the cargo. This approach provides high accuracy of falling of free-falling loads at a given point.

Keywords: aerial bomb, free-falling goods, drop parameter, coordinates of the point of incidence of the goods, ballistic functions of the cargo.