

А.В. Корень, Д.В. Довжук, Т.В. Бабкіна

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

ВИБІР ПРОГРАМНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЬОТУ КЕРОВАНИХ АВІАЦІЙНИХ БОМБ

У статті розглянуто можливі варіанти вибору сучасних програмних інструментів (мов програмування) для вирішення задач моделювання симуляторів польоту керованих авіаційних засобів ураження.

Розглянуто рух авіаційної бомби та сили, що діють на бомбу в повітрі після скидання з літака-носія.

Наведено: основні переваги керованих (корегованих) авіаційних бомб порівняно зі звичайними авіаційними бомбами; характерні конструктивні особливості сучасних керованих (корегованих) авіаційних бомб; визначено очевидні напрямки розвитку керованих (корегованих) авіаційних бомб у зв'язку з розвитком систем протиповітряної оборони.

Приведений перелік задач, які буде зручно вирішувати за допомогою програмного інструменту MATLAB а також вказані переваги MATLAB у створенні симуляторів польоту керованих авіаційних засобів ураження.

Запропоновано використовувати мову програмування MATLAB для задач, що пов'язані з моделюванням і аналізом траєкторій польоту керованих авіаційних засобів ураження

В якості прикладу показано скріншот анімаційного кліпу переміщення авіаційної бомби, яка після проведених розрахунків точно потрапляє в ціль, що отримано за допомогою програми MATLAB. При цьому подальші дослідження доцільно спрямувати на аналіз можливих оптимізаційних рішень управління динамікою польоту керованих авіаційних засобів ураження та створення розгорнутої математичної моделі динаміки польоту керованих (корегованих) авіаційних бомб з урахуванням впливу можливих факторів і подальшою її реалізацією у програмному середовищі MATLAB.

Ключові слова: *керована авіаційна бомба, керовані авіаційні засоби ураження, бойова частина, ціль, мова програмування, математичне моделювання, симулятор польоту.*

Вступ

Постановка проблеми. Бойовий досвід застосування керованих (корегованих) авіаційних бомб (КАБ) показав перспективність розвитку цього виду озброєння, що поєднують у собі переваги потужної бойової частини (БЧ), високої точності та відносно низьку вартість. На рисунку 1 показано авіаційну бомбу ФАБ-500М-62 споряджену універсальним модулем планування та корекції (УМПК) виробництва рф.

Переваги застосування КАБ, порівняно зі звичайними авіаційними бомбами, не викликають сумнівів. За оцінкою військових фахівців, основними перевагами КАБ порівняно зі звичайними авіабомбами є [1, с. 15, 16]:

- збільшення дальності бойового застосування;
- підвищення точності влучання у 4...10 разів;
- зменшення ймовірності збиття літаків-носіїв

системою ППО противника;

- скорочення витрат боєприпасів для виконання

бойового завдання у 5...25 разів (залежно від типу цілі);

- зменшення кількості літако-вильотів у 2...20 разів і кількості заходів на ціль;
- скорочення фінансових витрат на виконання бойового завдання у 2...30 разів.



Рис. 1. Авіаційна бомба ФАБ-500М-62 з універсальним модулем планування та корекції
Джерело: [2]

Сучасні КАБ мають характерні конструктивні особливості:

- можливість використання в якості бойових частин звичайних авіаційних бомб;

- можливість тривалого польоту за рахунок високої аеродинамічної якості, крім того на деяких типах КАБ застосовуються додатково двигуни;

- використання GPS – навігації.

У зв'язку з розвитком систем протиповітряної оборони (ППО) та способів їх застосування очевидним напрямком розвитку КАБ є:

- удосконалення тактичних прийомів застосування;

- забезпечення можливості застосування на малих висотах польоту носія;

- застосування протизавадових систем;

- розширення операційної дальності застосування.

Це дасть змогу забезпечити уникнення входу носія КАБ в зону дії ППО противника, реалізувати автономність наведення, розширити номенклатуру цілей та підвищити ефективність їх ураження [3, с. 32...35].

Отже, для Збройних Сил України розробка власних керованих авіаційних засобів ураження, що поєднують в собі властивості КАБ, є не лише бажаною, а стратегічно необхідною. В сучасних умовах тривалої війни суттєвою перевагою напрямку розвитку КАБ є універсальність – можливість використання як бойових частин авіаційних бомб не лише вітчизняного виробництва, що залишилися після розпаду Радянського Союзу, а й іноземного виробництва.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій.

Аналіз публікацій і робіт, щодо вирішення задач моделювання симуляторів польоту КАБ, показав важливість та актуальність цієї тематики в сучасних умовах ведення бойових дій.

Так, у роботі [4] проведено дослідження характеристик поздовжнього руху КАБ методом чисельного моделювання для визначення параметрів органів стабілізації та управління. У роботі [5] проведено аналіз тенденцій створення керованих авіаційних бомб та визначено перспективні напрямки їх розвитку. Деякі особливості конструктивних рішень КАБ виробництва рф наведено у роботі [6]. У роботі [7, с. 337...365] розглянуто теоретичні основи прицілювання та наведення КАБ.

У роботі [8, с. 8...46] приведено кілька програмних інструментів (C++, Python, APDL ANSYS, Matlab, Maple, Fortran), за допомогою яких зручно вирішувати задачі прикладної механіки, а в [9, с. 2...8] досліджено проблематику добору мов та середовищ програмування як засобів навчання для використання в курсі інформатики навчальних

закладів та викладено основні підходи до вибору програмних інструментів як засобів навчання. У зазначених роботах розглядається проблематика вибору програмних інструментів для вирішення цивільних задач без урахування специфіки військової тематики. При розробці засобів керованого озброєння вітчизняні розробники використовують різноманітні програмні інструменти для досліджень і аналізу конструктивних рішень, перевірки адекватності математичних моделей та пошуку рішень оптимізації траєкторії руху перспективних керованих авіаційних засобів ураження. Отже з урахуванням специфіки вирішення військових задач постає питання вибору найбільш зручного варіанту для вирішення задач моделювання симуляторів польоту КАБ.

Аналіз матеріалів відкритих джерел інформації свідчить, що пошук оптимізаційних рішень для підвищення ефективності застосування авіаційних засобів ураження є актуальним завданням, але у зв'язку зі стрімким розвитком програмного і апаратного забезпечення з'явилася велика кількість програмних інструментів і постає питання вибору якими саме програмними інструментами буде зручно та ефективно користуватися при розробці перспективних КАБ.

Мета статті – за результатами аналізу сучасних програмних інструментів (мов програмування) визначити найбільш зручний варіант для вирішення задач моделювання симуляторів польоту КАБ.

Виклад основного матеріалу.

Для дослідження траєкторії польоту керованих авіаційних засобів ураження необхідно розробити математичну модель, яка буде відтворювати зміну в часі таких параметрів польоту, як координати центру маси, значення і напрямки сил, що впливають на положення КАБ у просторі, швидкостей і прискорень центру мас та відносно центру мас, тощо.

Розглянемо рух авіаційної бомби після скидання з літака-носія. На бомбу масою m , яка скинута з літака зі швидкістю польоту V , діють сили: вертикальна і горизонтальна складові сили опору повітря – $\overline{F_{cx}}$, $\overline{F_{cy}}$; сила тяжіння – $\overline{F_t}$; сила вітру – $\overline{F_e}$. Коефіцієнт опору повітря дорівнює k

За другим законом Ньютона отримуємо диференціальне рівняння, що описує рух бомби:

$$m \frac{d\bar{V}}{dt} = \bar{F}_g + \bar{F}_T + \bar{F}_{cx} + \bar{F}_{cy}.$$

Проектуючи його на осі координат, отримаємо систему диференціальних рівнянь руху:

$$\begin{cases} m \frac{dV_x}{dt} = F_T - F_{cx}, \\ m \frac{dV_y}{dt} = F_g - F_{cy}. \end{cases}$$

Розглянемо перше рівняння системи, враховуючи початкові умови $t = 0$, $V_x = 0$, $F_x > kV_y^2$, знайдемо рівняння швидкості:

$$V_x = \sqrt{\frac{mg}{k}} \cdot \frac{e^{\frac{2\sqrt{kg}}{\sqrt{m}} \cdot t} - 1}{e^{\frac{2\sqrt{kg}}{\sqrt{m}} \cdot t} + 1}.$$

Так як $V_x = \frac{dx}{dt}$ та початкові умови $t = 0$, $x = 0$, то отримаємо залежність абсциси від часу:

$$x = \frac{\sqrt{mg}}{\sqrt{k}} \cdot t - \frac{m}{k} \ln \frac{e^{\frac{2\sqrt{kg}}{\sqrt{m}} \cdot t} - 1}{e^{\frac{2\sqrt{kg}}{\sqrt{m}} \cdot t} + 1} + \frac{m}{k} \ln \frac{1}{2}.$$

Розглянемо друге рівняння системи, враховуючи початкові умови $t = 0$, $V_y = V_c$, знайдемо рівняння швидкості:

$$V_y = \sqrt{\frac{F_g}{k}} \cdot \frac{e^{\frac{2\sqrt{kF_g}}{m} \cdot t+c} - 1}{e^{\frac{2\sqrt{kF_g}}{m} \cdot t+c} + 1},$$

$$\text{де } c = \frac{m}{2\sqrt{kF_g}} \ln \frac{\sqrt{\frac{F_g}{k}} + V_c}{\sqrt{\frac{F_g}{k}} - V_c}.$$

Так як $V_y = \frac{dy}{dt}$ та початкові умови $t = 0$, $y = 0$, то отримаємо ординату від часу:

$$y = \frac{\sqrt{F_g}}{\sqrt{k}} t - \frac{m}{k} \ln \frac{e^{\frac{2\sqrt{kF_g}}{m} \cdot t+c} - 1}{e^{\frac{2\sqrt{kF_g}}{m} \cdot t+c} + 1} + \frac{m}{k} \ln \frac{e^c}{e^c + 1}$$

Для дослідження математичної моделі руху КАБ необхідно застосовувати такі програмні інструменти, які будуть відображати зміну в часі параметрів польоту КАБ (координати центру маси, величину та напрямок швидкості, кути орієнтації корпусу КАБ та ін.)

Практично, моделювання є процесом заміщення об'єкту дослідження деякою його математичною моделлю і проведення досліджень

зводиться до отримання необхідної інформації про поведінку та положення КАБ у просторі в будь-який момент часу без проведення натурних випробувань.

Математичне моделювання дає змогу скласти опис функціонування технічного об'єкта в зовнішньому середовищі, визначити вихідні параметри і характеристики, отримати оцінку показників ефективності, здійснити пошук оптимальної структури і параметрів об'єкту через використання математичних залежностей і символів.

Підкреслимо, що математичне моделювання може полегшити рішення будь-якої фізичної задачі теоретичним шляхом. Але інколи можливість теоретичного рішення задачі обмежується мірою складності математичної моделі (обмеження можуть стосуватися часу проведених обчислень та апаратних можливостей). Що складніша математична модель, то складніший описуваний за її допомогою фізичний процес, то більш проблемним стає використання такої моделі для розрахунків.

Інколи рішення задачі можливо отримати "вручну" – аналітично, але у більшості практично важливих ситуацій знайти аналітичне розв'язання не вдається через математичну складність моделі.

Існує безліч програмних інструментів, що дають змогу описувати математичні моделі з використанням бібліотек стандартних математичних функцій та виразів але не завжди вони є зручними для використання саме в сфері розробки нових зразків озброєння. Отже, стає актуальним питання вибору мови програмування для вирішення задач моделювання балістики керованих авіаційних засобів ураження.

Вибір мови програмування для розробки симулятора польоту КАБ багато в чому залежить від конкретних вимог до проведення проекту: швидкість розробки, продуктивність, доступність бібліотек і інструментів тощо. Розглянемо декілька популярних мов програмування та їх переваги:

1. Python.

Переваги: велика кількість бібліотек для наукових обчислень (NumPy, SciPy), візуалізації (Matplotlib, Seaborn) і машинного навчання (TensorFlow, PyTorch).

Використання: підходить для швидкого прототипування і тестування алгоритмів, особливо в дослідницьких проектах.

2. MATLAB.

Переваги: широко використовується в дослідженнях по автоматичному керуванню і моделюванню динамічних систем. Простий у використанні для математичних розрахунків і візуалізації.

Використання: ідеальний для завдань, пов'язаних з математичним моделюванням і аналізу траєкторій.

3. C++.

Переваги: висока продуктивність, можливість низькорівневого управління. Підходить для розробки високопродуктивних симуляторів і систем у реальному часі.

Використання: найчастіше використовується в системах, де критична продуктивність розрахункових операцій, наприклад, у військових і аерокосмічних симуляторах.

4. Java.

Переваги: об'єктно-орієнтована структура і сумісність між платформами (наприклад – операційними системами). Добре підходить для розробки багатьох програмних продуктів.

Використання: може використовуватися для розробки симуляторів, особливо якщо планується інтеграція з іншими системами на Java.

5. Julia.

Переваги: висока продуктивність, особливо в області чисельних розрахунків і наукових обчислень. Добре підходить для роботи з великими масивами даних (таблиць, n-мірних матриць тощо).

Використання: підходить для розробок, де важливо отримати продуктивність на рівні C++, але з синтаксисом, схожим на Python.

Найбільш відповідна мова програмування і інструмент для розробки симулятора польоту КАБ залежать від конкретних задач, технічних вимог, наявності досвіду розробки у дослідників (розробників) і вимог до продуктивності. На думку авторів статті Python може бути доцільним вибором для початкових рівнів розробок і експериментів, тоді як MATLAB може бути кращим для глибокого математичного моделювання, що надає власне середовище розробки із потужними інструментами для графічної візуалізації і аналізу даних.

На рисунку 2 показано скріншот анімаційного кліпу переміщення бомби, що отриманий за допомогою програми MATLAB. Після обчислень та запуску анімаційного кліпу можемо наглядно побачити візуалізацію руху КАБ, що потрапляє в ціль та дозволяє оцінити переміщення бомби за балістичною траєкторією у будь-який момент часу.

MATLAB, як програмний інструмент, буде зручним для вирішення наступних задач:

- моделювання траєкторії польоту (розрахунок траєкторій з урахуванням впливу сили тяжіння, опору повітря, вітрових навантажень; імітація варіантів скидання з різних висот і швидкостей носія);

- моделювання систем наведення (самонаведення: лазерне, телевізійне, тепловізійне, радіолокаційне; теленаведення: за променем, за

телевізійно-командною лінією зв'язку; автономне: програмне, інерціальне, інерціальне з корекцією);

- моделювання системи управління (розробка та тестування автопілотів, алгоритмів корекції курсу; використання методів оптимального управління);

- візуалізація та аналіз результатів (побудова 2D/3D траєкторій польоту, аналіз помилок наведення і відхилення від цілі, часових характеристик).

Перевагами MATLAB у створенні симуляторів керованих авіаційних засобів ураження є:

- швидке прототипування – створення робочого зразка або попередньої моделі системи для перевірки її функціональності та алгоритмів;

- інтеграція з апаратним забезпеченням – через Simulink Real-Time;

- гнучкість масштабування – від простих моделей до комплексних систем.

Висновки

З огляду на зростаючі вимоги до точності, ефективності та адаптивності високоточної зброї, розробка нових керованих авіаційних засобів ураження є критично важливою складовою сучасного оборонно-промислового комплексу. MATLAB забезпечує середовище, у якому можливо безпечно, економно і гнучко тестувати складні алгоритми без потреби у фізичних випробуваннях на ранніх етапах проектування.

Окрім того, з огляду на розвиток технологій штучного інтелекту, MATLAB дозволяє інтегрувати елементи машинного навчання для адаптивного наведення та ухвалення рішень в режимі реального часу.

MATLAB є потужним інструментом для вирішення широкого спектра завдань, пов'язаних із моделюванням, симуляцією та аналізом динаміки керованих авіаційних засобів ураження. Його гнучкість, функціональність та можливість моделювання реалістичних сценаріїв робить його зручним середовищем для розробників, інженерів та дослідників у галузі розвитку оборонних технологій.

Напрямом подальших досліджень є аналіз можливих оптимізаційних рішень управління динамікою польоту керованих авіаційних засобів ураження та створення розгорнутої математичної моделі динаміки польоту КАБ з врахуванням впливу можливих факторів і подальшою її реалізацією у програмному середовищі MATLAB.

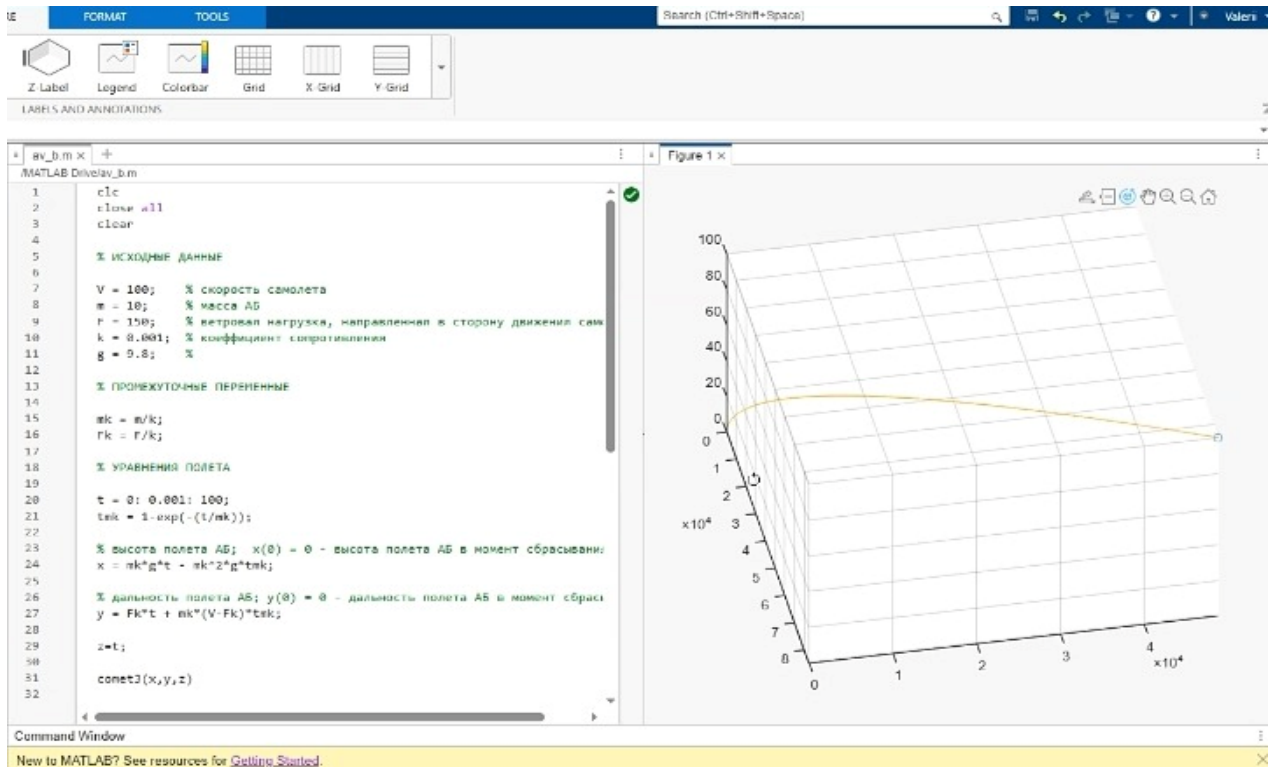


Рис. 2. Скріншот анімаційного кліпу переміщення бомби отриманий за допомогою програми MATLAB
Джерело: Розроблено авторами

Список джерел

1. Семенов С.С. Корректируемые авиабомбы российских ВВС/ С.С. Семенов, В.Н. Харчев – М.: Изд. группа “Бедретдинов и Ко”, 2005. - 88 с. ISBN 5-901668-12-X.
2. °Модуль планерування і корекції. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org>.
3. °Щербинин Р. Американские программы совершенствования управляемых авиационных бомб // ЗВО. – 2003. – № 3. – С. – 32-35
4. Телевний І.В., Сергієнко А.І., Нікітченко В.І., Башинський Д.В. Дослідження характеристик поздовжнього руху корегованої авіаційної бомби методом чисельного моделювання для визначення параметрів органів стабілізації та управління. Journal of Scientific Papers “Social Development and Security”. 2021. 11(2).– С.–107-114. <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.2.11>.
5. Тараненко В.В., Башинський Д.В. Щодо перспективних напрямків розвитку керованих авіаційних бомб. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2018. 14(21). 72-76.
6. °Довжук Д.В., Шабанов П.П., Логвиненко М.М. Методичні аспекти визначення типу авіаційного засобу ураження за наслідками авіаційного удару. Збірник наукових праць ДНДІА. 2023 № 19(26).– С.–245-252. <http://doi:10.54858/dndia.2023-19-16>.
7. А.И. Арбузов, М.П. Соловьев. Теория бомбометания. – М.: Военное издательство, 1952. – 696 с.
8. Програмування задач механіки : конспект лекцій / укладачі: А.В. Загоруйко, Д.О. Кайота. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 48 с.
9. Шевчук П.Г. Основні підходи добору мови та середовища програмування як засобів навчання. Інститут інформаційних технологій та засобів навчання НАПН України, м. Київ, 2010. №3 (17). [Електронний ресурс] – Режим доступу до журналу: <http://www.ime.edu-ua.net/em.html>.

Надійшла до редколегії 10.10.2025

Схвалена до друку 10.11.2025

Відомості про авторів:

Корень Андрій Васильович

ад'юнкт
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0007-7651-8104>

Довжук Дмитро Володимирович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0576-505X>

Бабкіна Тетяна Василівна

молодший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<http://orcid.org/0000-0002-2611-3631>

Information about the authors:

Andrii Koren

adjunct
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<http://orcid.org/0009-0007-7651-8104>

Dmytro Dovzhuk

Candidate of Technical Science (PhD)
Senior Researcher
Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0576-503X>

Tetiana Babkina

Junior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-2611-3631>

ON THE SELECTION OF SOFTWARE TOOLS FOR SOLVING THE TASK OF MODELING THE FLIGHT OF GUIDED AIRCRAFT BOMBS

A. Koren, D. Dovzhuk, T. Babkina

The article discusses possible options for choosing modern software tools (programming languages) for solving the problems of modeling flight simulators for guided aviation weapons.

The movement of an aviation bomb and the forces acting on the bomb in the air after being dropped from a carrier aircraft are considered.

The following are presented: the main advantages of guided (corrected) aerial bombs compared to conventional aerial bombs; characteristic design features of modern guided (corrected) aerial bombs; obvious directions for the development of guided (corrected) aerial bombs in connection with the development of air defense systems are identified.

A list of tasks that can be conveniently solved using the MATLAB software tool is provided, as well as the advantages of MATLAB in creating flight simulators for guided aerial weapons.

It is proposed to use the MATLAB programming language for tasks related to modeling and analyzing the flight trajectories of guided aerial weapons.

As an example, a screenshot of an animated clip showing the movement of an aerial bomb, which, after calculations, accurately hits the target, obtained using the MATLAB program, is shown. Further research should focus on analyzing possible optimization solutions for controlling the flight dynamics of guided aerial weapons and creating a detailed mathematical model of the flight dynamics of guided (corrected) aerial bombs, taking into account the influence of possible factors, and its subsequent implementation in the MATLAB software environment.

Keywords: guided aerial bomb, guided aerial weapons, warhead, target, programming language, mathematical modeling, flight simulator.