



УДК 629.735.33

МОДЕЛЬ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ САМОНАВЕДЕННЯ КУЛІ

Казак В.А., Казак В.М., Лазарчук П.Г.

Національний авіаційний університет (м. Київ)

У статті представлені результати лабораторії Sandia, лабораторії DARPA, КБ приладобудування та розробленої на цій основі моделі телевізійної системи самонаведення кулі.

Ключові слова: куля, керування, самонаведення, прицілювання, об'єкт самонаведення, промах, точність.

Вступ. Постійно зростаючі вимоги до точності стрільби зі стрілецької зброї, яка є головною складовою ефективності застосування такої зброї, швидкості обробки інформації і необхідністю прийняття тактичних рішень у вкрай обмежений термін ставлять перед стрільцем завдання, вирішення яких часто перевищує психофізіологічні можливості людини. Додамо до цього вплив газодинамічних процесів, що виникають при автоматичній стрільбі чергами і супроводжуючих їх векторних змін швидкості після вильоту снаряду з каналу ствола. Одним з підходів, спрямованих на значне зниження впливу наведених факторів, може бути корекція траєкторії зближення кулі з заданим об'єктом.

Модель динаміки зміни параметрів траєкторії руху кулі залежить від реалізованого методу наведення, характеристик об'єкта наведення і початкових умов стрільби. Всі ці чинники обумовлюють модель і вигляд системи наведення. Створення системи корекції траєкторії руху кулі, в першу чергу веде до істотного збільшення дистанції стрільби на ураження, по-друге для стрільби на дистанції 1500 ... 2500 м, на відміну від стрільби не відкоригованими снарядами, стрільцю немає необхідності володіти властивостями снайпера, використовувати додаткові пристрої і розраховувати різні поправки. З такими ситуаціями доводиться стикатися снайперу, наприклад, при погіршенні погодних умов і появі заважаючої хмарності.

Аналіз основних досліджень та публікацій. Розглядається можливість підвищення точності влучення кулі за рахунок корекції її траєкторії руху інтелектуальною системою управління.

Керовані снаряди набувають все більш бурхливого розвитку. Найбільш розвинуті у науково-технічному плані країни: США, Німеччина, Росія, Ізраїль та інші, давно займаються цими питаннями. Наприклад, фахівці з Sandia National Laboratories основною метою бачили – забезпечити мінімальне відхилення кулі від траєкторії незалежно від відстані, вітру і втрати швидкості. Паралельно з цим досліджувались і задачі зміни траєкторії руху, тобто наведення кулі на заданий об'єкт після пострілу. Результат досліджень був оголошений прийнятним у листопаді 2011 року. Куля (рис. 1) продемонстрована у металі, отримано патент. Лабораторія DARPA головну проблему бачила у забезпеченні мінімального відхилення від первісно заданого курсу, не дозволити кулі змінювати траєкторію польоту із-за бокового вітру, повітряних завихрень, втрати швидкості, тощо. За рахунок цього значно збільшити дальність стрільби, її точність і цим забезпечити суттєву економію боєприпасів. Тут важлива вже не балістика чи електроніка, а економіка: якщо керована куля у п'ять разів дорожче звичайної, то снайпер повинен за рахунок її переваг витратити у п'ять разів менше куль, щоб вона хоча б окупувалася. Основними задачами першого етапу досліджень були максимальна дальність, точність стрільби і забезпечення мінімального використання високовартісних технологій. ВАТ «Конструкторське бюро приладобудування» розробило свою модель керованої кулі.

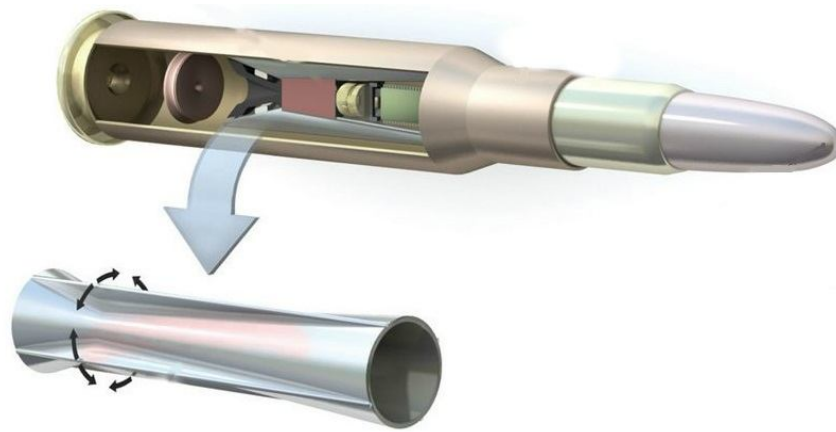


Рисунок 1 – Розробки Sandia та DARPA (США)

Керована куля наводиться на ціль, яка підсвічується лазером, не обертається у польоті і призначена для стрільби з малокаліберної зброї із гладким стволом й вміщує балансуєчий вантаж. Порожній конічний корпус розташований позаду балансуєчого вантажу (рис. 2).

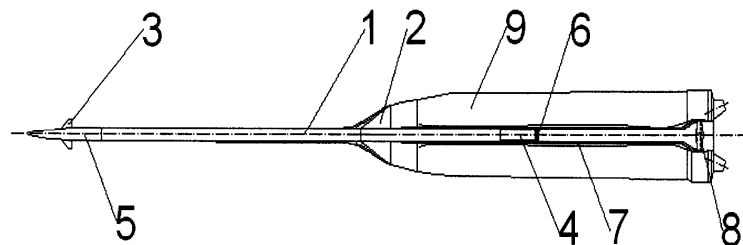


Рисунок 2 – Керована куля за патентом RU2496089 (Росія):

1 – балансуєчий вантаж; 2 – стабілізуєчі елементи; 3 – кермові поверхні; 4 – бортова апаратура; 5 – приводи кермових поверхонь; 6 – фотоприймач; 7 – мікродвигун; 8 – бікаліброва насадка; 9 – корпус кулі.

Недоліками керованих куль можна визначити наступні:

- мале подовження кулі малого калібру, а, отже, малий відносний об'єм;
- керований снаряд малого калібру вистрелюється з великокаліберної стрілецької зброї, яка має велику масу й габарити, що викликає необхідність наявності другого номеру обслуговування;
- при пострілі з стрілецької зброї керована куля підпадає під дію суттєвого осевого перевантаження, що обумовлюється дульною швидкістю, яка потрібна для створення вражаючої дії на великих дистанціях і яка визначається співвідношенням [3]:

$$V^2 = \frac{2gf\omega}{(K-1)\varphi q} \left[1 - \frac{T_K}{T_1} \left(\frac{\Lambda_1 - \Lambda_K}{\Lambda_1 - \Lambda} \right)^{K-1} \right], \quad (1)$$

де $\Lambda, \Lambda_1, \Lambda_K$ – відповідні шляхи кулі; ω – вага усього заряду; $\frac{T_K}{T_1}$ – відношення відповідних температур газу; f – сила пороху; $\varphi > 1$ – коефіцієнт фіктивності; q – вага снаряду; K – показник адиабати.

Граничне значення швидкості, а, отже, осевого перевантаження, можна визначити з урахуванням деяких припущень: $\Lambda = \Lambda_g; V = V_g$;

- постріл керованої кулі малого калібру здійснюється з каналу ствола великокаліберної стрілецької зброї, тому при відсутності у кулі власного маршового двигуна, це обмежує максимально можливу швидкість (2) керованої кулі, а, отже, максимальну дальність стрільби:

$$\lim_{\Lambda \rightarrow \infty} V^2 \rightarrow \frac{2gf\omega}{(K-1)\varphi q}, \quad (2)$$



Керована куля малого калібру має малу об'ємну щільність, а тому і малу масу, тому що більша частина об'єму наповнена електронікою, у зв'язку з цим уражаюча дія при кінетичному способі ураження цілі дуже обмежена, що у свою чергу обмежує номенклатуру уражаємих об'єктів.

Пошуку шляхів зниження негативного впливу наведених факторів присвячені дослідження науковців ведучих країн, що займаються створенням нової високоточної зброї. Тому ця робота, яка присвячена удосконаленню системи наведення кулі є актуальною.

Постановка задачі. Аналіз публікацій останніх років дозволив зробити наступні основні висновки:

- створення кулі з системою корекції траєкторії польоту приведе до суттєвого збільшення дистанції стрільби на ураження;
- значно знижуються вимоги до кваліфікації стрільця при стрільбі на великі дистанції (1,5–2 км), тобто з керованими кулями такі відстані стрільби будуть підвладними рядовим стрільцям;
- стрільба керованими кулями не потребує вимірювачів відстані та сили вітру, тобто виникає економія сил, часу і грошей.

У той же час запропоновані методи управління є напівактивними й для свого функціонування потребують попереднього опромінювання. Цей факт викликає цілу низку негативних явищ, головними з яких є: демаскуючі фактори; у разі відмови випромінювача куля стає не керованою. Тому для уникнення наведених негативних явищ потрібен відповідний пошук, наукове обґрунтування і створення нового принципу корекції траєкторного руху керованої кулі. У роботі пропонується використати метод телевізійного самонаведення кулі на заданий об'єкт.

Мета статті. Метою статті є розробка моделі телевізійної системи самонаведення кулі (снаряду). Для дослідження обраний типовий снаряд калібру 12,7 мм.

Результати дослідження. Для визначення поправок, які необхідно враховувати при організації корекції траєкторного руху керованої кулі, конкретизуємо загальну задачу прицілювання, для чого введемо наступні початкові передумови:

- зброя на момент пострілу є нерухомою;
- про рух кулі приймається гіпотеза $\bar{V}_c = const$;
- управління прицілюванням здійснюється шляхом наведення дула стрілецької зброї на потрібну точку цілі.

З урахуванням здійснених передумов векторна схема прицілювання має вигляд (рис. 3):

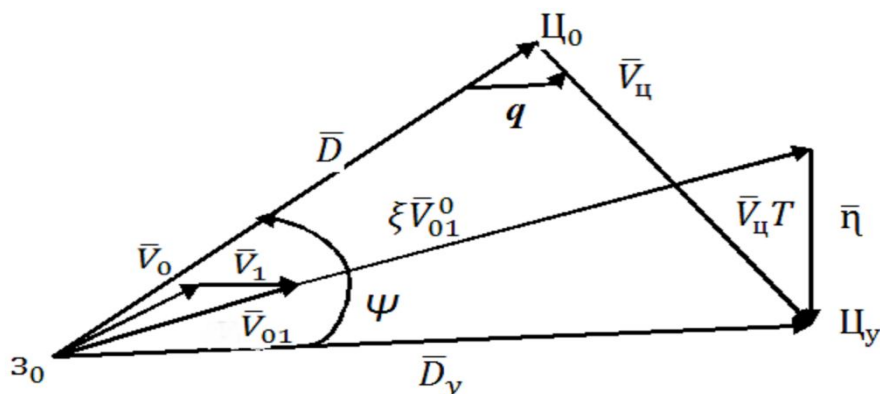


Рисунок 3 – Схема прицілювання по цілі, що рухається:

\bar{D}, \bar{D}_y – вектори початкової і упередженої дальності; $\bar{\eta}$ – вектор пониження; Ψ, q – кут упередження та курсовий кут цілі; $\bar{V}_0, \bar{V}_1, \bar{V}_{01}$ – швидкості, відповідно руху кулі на зрізі ствола, руху стрілецької зброї при прицілюванні по рухомій цілі, сумарний вектор



З аналізу схеми прицілювання (рис. 3) можна зробити висновок, що основними, впливаючими на точність влучення факторами є:

$$\eta = \eta(V, H, W, D, \varepsilon, \nu, \vartheta, \Psi, \omega_x, \omega_y, \omega_z, \dot{V}, \dot{D}, \dot{\varepsilon}, \dot{\omega}_x, \dot{\omega}_y, \dot{\omega}_z). \quad (3)$$

Наведені в залежності три фактори, що впливають на траєкторію руху снаряду, можуть коригуватися системою, структурна схема якої у загальному вигляді наведена на рис. 4.

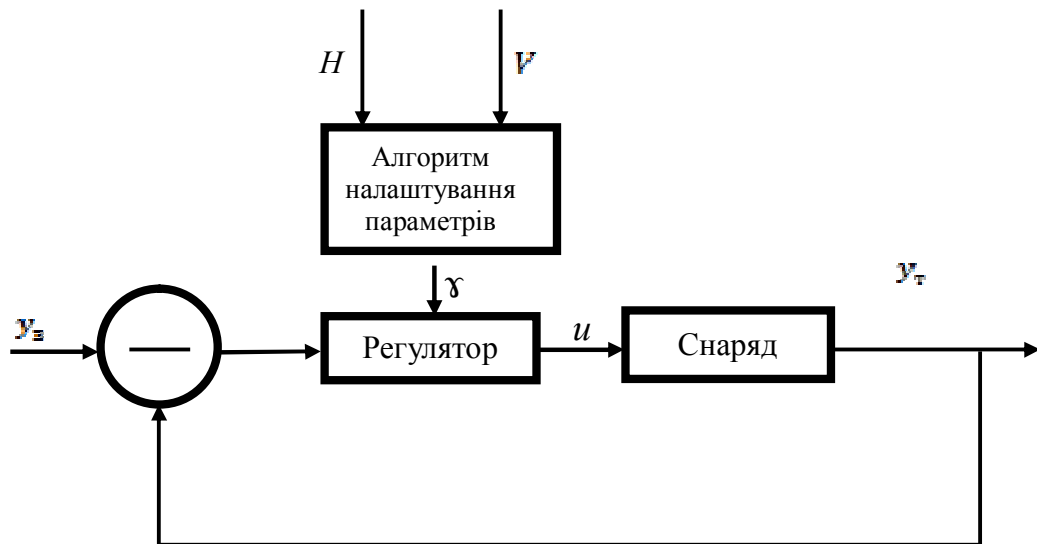


Рисунок 4 – Структурна схема контуру наведення

Метод наведення снаряду і алгоритми автоматичного траєкторного керування ним. Відомо, що при збільшенні дальності стрільби точність влучення, з причин зростання терміну дії зовнішніх факторів, значно знижується. Для компенсації дії таких явищ застосовуються системи керування або корекції траєкторії руху снаряду. Керувати польотом снаряду – це означає, визначним чином, впливати на його поступальний рух, тобто необхідним чином організовувати політ снаряду (кулі). Поступальний рух кулі характеризується вектором швидкості \vec{V} . Отже, впливати на поступальний рух кулі можна змінюючи вектор \vec{V} .

Нехай початок системи координат $O X_g Y_g Z_g$ (рис. 5) закріплений у центрі маси кулі, напрямлення осей $O X_g, O Y_g$ і $O Z_g$ обрані перед пострілом (польотом), й на протязі польоту не змінюються.

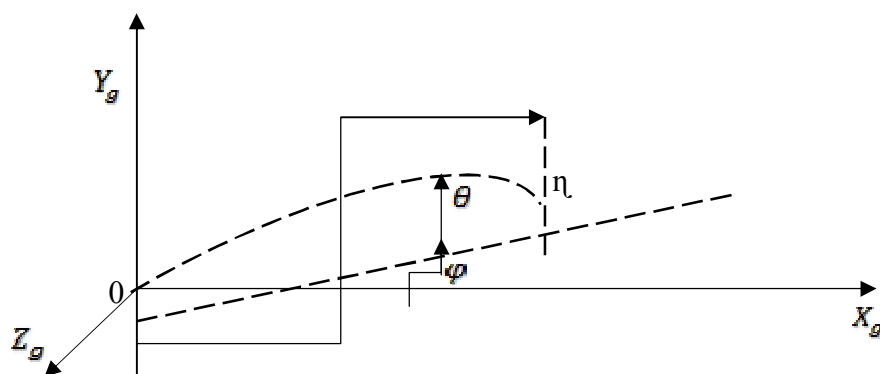


Рисунок 5 – Система координат, в якій описується керований рух кулі

У цьому випадку вектор \vec{V} можна визначити трьома величинами: V – модулем, θ – кутом нахилу до площини $X_g O Z_g$, характеризуючий пониження кулі, φ – кутом між



проекцією вектора \vec{V} на площину $X_g O Z_g$ та віссю $O X_g$, характеризуючий відхилення кулі від лінії прицілювання у горизонтальній площині $X_g O Z_g$.

Очевидно, вектор \vec{V} має три ступені вільності, отже, під керуванням необхідно розуміти можливість цілеспрямовано змінювати параметри V , θ , φ . Інакше кажучи, керування польотом кулі міститься у виконанні такого руху, при якому V , θ і φ змінюються заздалегідь прийнятим законом. Враховуючи, що під час руху кулі швидкість є функцією часу, можна записати:

$$\theta(t) = \theta_m(t); \varphi(t) = \varphi_m(t); V(t) = V_m(t). \quad (4)$$

У рівняннях (4) θ_m, φ_m, V_m визначають необхідні закони зміни кутів та величини (модулю) швидкості, тобто потрібний для влучення рух кулі; $\theta(t), \varphi(t), V(t)$ – характеристики реального руху кулі.

У характері функцій $\theta_m(t), \varphi_m(t), V_m(t)$ відбивається ціль керування. Якщо задані усі функції $\theta_m(t), \varphi_m(t), V_m(t)$, то метою управління є вивід кулі у задану точку цілі, із заданою величиною і направленням швидкості, у заданий момент часу. Така задача вирішується керуванням снарядами, які мають балістичну (рис. 5) ділянку польоту. При стрільбі на великі відстані куля повинна зберігати задану з умов потрібної для ураження цілі кінетичної енергії швидкості. Тому вимоги до швидкості польоту кулі $V(t)$ на кінцевій ділянці також повинні бути жорсткими, як і вимоги до кутів $\theta_m(t)$ і $\varphi_m(t)$. Ця вимога накладає визначні обмеження на витрати енергії на управління $U(t)$.

При тонкому виконанні вимог, що вписуються до польоту, кожній трійці функцій $V_m(t), \varphi_m(t), \theta_m(t)$ відповідають цілком визначені закони зміни інших параметрів, що визначають положення або рух кулі. Покажемо це на конкретному прикладі.

Для спрощення розглянемо політ кулі до цілі в одній площині (рис. 6).

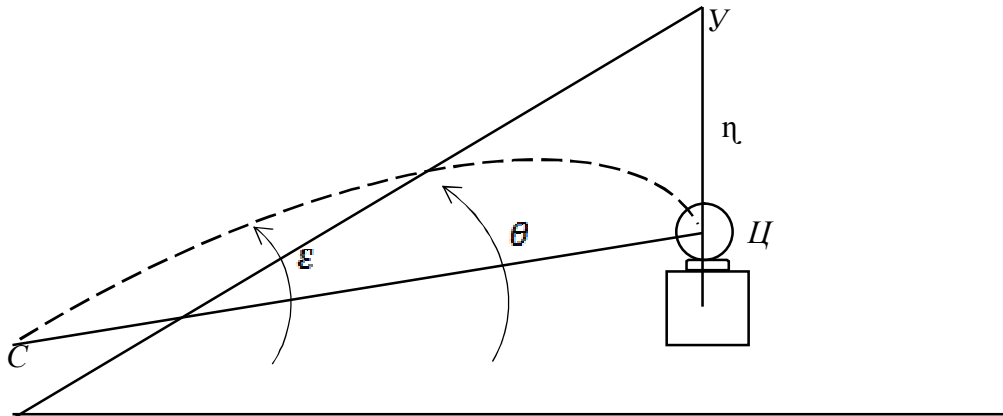


Рисунок 6 – Схема наведення кулі на ціль: C – точка стрільби, \mathcal{C} – точка влучення у ціль, $У$ – точка піднесення, η – піднесення, ε – кут місця цілі.

Нехай це буде функція $\theta_m(t)$. Ціль не рухається $V_u = 0$, або рухається з малою, по відношенню до швидкості кулі, швидкістю $\vec{V}_u = const$, прямолінійно і рівномірно, тобто $\vec{V}_u = V = const$. Для влучення у ціль снаряду, C потрібно направити в упереджену точку $У$. Це означає, що:

$$\theta_m(t) = \theta_m = const. \quad (5)$$

Якщо ціль рухається, умовою влучення у задану точку цілі (рис. 6) буде рівність, що отримано з трикутника $CУ\mathcal{C}$ по теоремі синусів:

$$\frac{V_u t}{\sin(\varepsilon_m - \theta_m)} = \frac{V t}{\sin(180^\circ - \varepsilon_m)}. \quad (6)$$

Визначимо з (6) кут θ_m , під яким потрібно здійснити постріл із стрілецької зброї:



$$\theta_m = \varepsilon_m - \arcsin \left[\frac{V_y}{V} \sin \varepsilon_m \right]. \quad (7)$$

Очевидно, що при $\bar{V}_y = const$, $V = const$, $\theta_m = const$, $\theta_y = 0$, умові (5) буде відповідати умова:

$$\varepsilon_m = const. \quad (8)$$

Фізично це означає, що пряма лінія, з'єднуюча снаряд із заданою точкою цілі, не обертається, тобто:

$$\dot{\varepsilon}_m = \omega_m = 0, \quad (9)$$

де ω_m – кутова швидкість обертання прямої *СЦ* (рис. 6).

Отже, політ кулі в упереджену точку можна організувати виконуючи умову (5). Але замість (5), для вирішення тієї ж задачі, можна скористатись умовою (8) або умовою (9).

З прикладу випливає, що керувати польотом кулі (снаряду) можна шляхом зміни, за відповідними законами, не тільки безпосередньо кутів $\theta_m(t)$, $\varphi_m(t)$, але й інших параметрів, що характеризують рух або положення снаряду. Тому, у загальному випадку, замість (4) можна записати:

$$f_1(t) = f_{m1}(t); f_2(t) = f_{m2}(t), \quad (10)$$

де $f_1(t)$, $f_2(t)$ – параметри, що використовуються замість $\theta(t)$, $\varphi(t)$ або самі кути $\theta(t)$, $\varphi(t)$; $f_{m1}(t)$, $f_{m2}(t)$ – функції, що визначають, як повинні змінюватись параметри $f_1(t)$ та $f_2(t)$ у процесі наведення снаряду на цілі.

Вибір параметрів $f_1(t)$, $f_2(t)$ та функцій $f_{m1}(t)$, $f_{m2}(t)$ визначається призначенням керованого снаряду, технічним рівнем і культурою виробництва систем керування. Формування функцій $f_{m1}(t)$ та $f_{m2}(t)$, що визначають характер керованого польоту та контроль за виконанням рівності (9) покладається на систему керування.

При обранні параметрів $f_1(t)$, $f_2(t)$ та функцій $f_{m1}(t)$, $f_{m2}(t)$ керуються наступними міркуваннями:

- при точному виконанні вимог, що висуваються до польоту, куля повинна влучити у цілі або у визначену точку цілі;
- при точному виконанні вимог, що висуваються до польоту, куля, рухаючись до цілі, не повинна попасти під дію неприпустимих перевантажень;
- система управління, яка забезпечує політ снаряду у відповідності до заданих вимог, повинна бути простою і надійною.

У відповідності до першої вимоги, у функціях $f_{m1}(t)$, $f_{m2}(t)$ потрібно вводити параметри, що визначають положення та рух цілі. Друга вимога визначає бажання спрямляти траєкторію снаряду.

Якщо наперед відомо положення або рух цілі, то функції $f_{m1}(t)$, $f_{m2}(t)$ можуть бути обчислені попередньо, за критеріями, пов'язаними з перевантаженням снаряду на траєкторії польоту, терміном польоту, складністю апаратури та іншими характеристиками. У цьому випадку функції $f_1(t)$, $f_2(t)$ задаються за допомогою програмних пристроїв. Інформація про потрібний рух вводиться один раз до пострілу і на протязі польоту не змінюється.

Системи керування, які формують інформацію про необхідний рух за допомогою пристроїв, слідкують за ціллю і розташовані на снаряді, називаються системами самонаведення. Організація польоту кулі у точній відповідності з визначеним законом вимірювання параметрів, що визначають потрібний рух кулі до цілі, називається методом наведення. Математичною формалізацією даного методу наведення є рівняння (10), що вказують, які параметри та як вони повинні змінюватись при здійсненні наведення по даному методу. Для керованої кулі задача керування полягає у тому, щоб вектор



швидкості кулі \bar{V} весь час польоту $t \in [t_0, t_k]$ був направлений на ціль, в такому разі параметром, що визначає необхідний рух є кут $\theta(t)$, тобто функція $f_1(t) = \theta(t)$ (рис. 6). Законом змінення кута $\theta(t)$ буде закон змінення кута $\varepsilon(t)$, тобто $\varepsilon(t) = f_{m1}(t)$. Методом наведення у цьому випадку буде рівність:

$$\theta = \varepsilon, \quad (11)$$

у якій, для спрощення запису, опущений аргумент t . При точному виконанні рівності (10) снаряд (куля) летить по цілком визначеній траєкторії. Різним функціям $f_{m1}(t), f_{m2}(t)$ відповідають різні траєкторії. Виходячи з цього, метод наведення можна розуміти як спосіб задання траєкторії польоту снаряду до цілі.

Система керування прагне організувати політ снаряду до цілі у точній відповідності із заданим методом наведення, тобто система керування намагається забезпечити виконання рівностей (10) та (11). Але практично, рівності (10) і (11) не виконуються, і куля відхиляється від траєкторії, що відповідає заданому методу, тобто куля відхиляється від траєкторії руху.

Висновки. Попередні результати моделювання процесу наведення кулі на ціль показали, що корекція траєкторії руху кулі дозволяє суттєво знизити вплив зовнішніх факторів на точність влучення. У якості системи корекції траєкторії руху кулі доцільно використовувати телевізійну систему самонаведення, яка не потребує додаткових датчиків та стабілізації координатора в інерціальному просторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боголюбов А. А., Лебедев Г. Н., Фирсов С. П. Системы контроля управления наведением летательного аппарата с помощью самообучающейся нейронной системы // М. : Авиакосмическое приборостроение, 2002. – № 4. – С. 25-29.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М. : Изд. Физико-математической литературы, 1958. – 464 с.
3. Казак В. М. Системні методи відновлення живучості літальних апаратів в особливих ситуаціях у польоті. – К. : Вид. «НАУ – друк», 2010. – 284 с.
4. Коростелев О. П. Теоретические основы проектирования ствольных управляемых ракет / О. П. Коростелев, Б. И. Доценко, Н. А. Качаева и др. – К. : Defense express library, 2007. – 445 с.
5. Максимов М. В. Авиационные системы радиоуправления / М. В. Максимов, Г. И. Горгонов, В. С. Чернов. – М. : ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1984. – 363 с.
6. Казаков И. Е. Авиационные управляемые ракеты. Часть 2 / И. Е. Казаков, А. Ф. Мишаков. – М. : ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1985. – 423 с.

Казак В.А., Казак В.Н., Лазарчук П.Г. МОДЕЛЬ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ САМОНАВЕДЕНИЯ ПУЛИ

В статье представлены результаты лаборатории Sandia, лаборатории DARPA, КБ приборостроения и разработанной на этой основе модели телевизионной системы самонаведения пули.

Ключевые слова: пуля, управление, самонаведение, прицеливание, объект самонаведения, промах, точность.

Kazak V.A., Kazak V.M., Lazarchyk P.G. MODEL TELEVISION SYSTEM HOMING BULLETS

The paper presents the results of laboratory Sandia, laboratory DARPA, KB and instrumentation developed for this model-based television system homing bullets.

Keywords: ball control, homing, aiming homing facility, miss accuracy.