

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ СТАБІЛІЗАТОРА ОЗБРОЄННЯ БМП-2

Основним озброєнням бойової машини піхоти БМП-2 є 30-мм автоматична гармата 2А42. Ця дрібнокаліберна швидкострільна гармата встановлена у башті і стабілізована у двох площинах, що дозволяє вести прицільний вогонь під час руху [1]. Ефективна дальність вогню гармати по наземних цілях становить до 1500–2000 м (броньовані цілі), а максимальна дальність по малозахищених цілях – до 4000 м. Основна гармата 2А42 і спарений кулемет стабілізовані у двох площинах, що дає змогу вести вогонь по цілях під час руху машини пересіченою місцевістю. Це значно підвищує влучність і реакцію вогню на ходу. БМП-2 оснащена прицільними приладами для стрільби вдень і вночі.

Електрогідравлічний стабілізатор БМП-2 забезпечує середню похибку стабілізації гармати на рівні 1 мрад на дистанції 1 км при швидкості руху машини до 25–35 км/год.

Стабілізатори озброєння споживають електроенергію від бортової мережі машини для роботи електричних та гідравлічних приводів. Енергоефективність таких систем залежить від конструкції, технологій, що використовуються, та стану технічного обслуговування.

Виявлено основні джерела втрат енергії, серед яких [2]:

- динамічні режими роботи приводу стабілізатора;
- перевитрати енергії під час компенсації вібрацій та швидких маневрів;
- неоптимальні режими роботи електродвигунів та елементів системи управління.

Запропоновано алгоритм, який регулює споживану потужність електродвигунів стабілізатора озброєння БМП-2 у залежності від поточних умов роботи. Алгоритм дозволяє знижувати енергоспоживання в моменти, коли система не потребує високої потужності (наприклад, під час повільного руху або відсутності зовнішніх збурень).

Адаптивне управління двигунами стабілізатора БМП-2 будується на основі теорії оптимального управління і враховує змінні умови роботи, такі як швидкість, вібрації, зовнішні збурення та поточний стан енергоспоживання.

Система стабілізації описується рівнянням руху з врахуванням моментів і сил, що діють на стабілізатор озброєння:

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + \zeta\theta = M_u + M_d,$$

де J - момент інерції системи; θ - кут повороту стабілізатора озброєння; $\ddot{\theta}, \dot{\theta}$ - прискорення і швидкість кутового руху відповідно; b - коефіцієнт в'язкого тертя у системі; ζ - коефіцієнт жорсткості; M_u - момент від двигуна стабілізатора (керуючий сигнал); M_d - момент від зовнішніх збурень.

Дане рівняння є базовим рівнянням динаміки обертального руху, що виводиться на основі другого закону Ньютона у кутовій формі. Його використання в системах стабілізації поширене у літературі з механіки, автоматичного керування та систем стабілізації.

Мета адаптивного управління — мінімізувати споживання енергії, забезпечуючи задану точність стабілізації. Функціонал оптимізації:

$$J = \int_0^T (q_1(\theta - \theta_{зад})^2 + q_2\dot{\theta}^2 + q_3M_u^2) dt,$$

де $\theta_{зад}$ - заданий кут стабілізації; q_1, q_2, q_3 - вагові коефіцієнти, що визначають важливість точності, плавності руху і мінімізації енергоспоживання відповідно.

Такий функціонал часто використовується в задачах оптимального керування для мінімізації відхилення від заданого положення, швидкості змін та енергоспоживання системи. Адаптивний підхід передбачає налаштування коефіцієнтів q_1, q_2, q_3 залежно від умов роботи системи. Для мінімізації функціоналу J використовується закон управління у вигляді ПІД регулятора з адаптивними коефіцієнтами.

Список використаних джерел:

1. Бойова машина піхоти БМП-2. Загальна будова: навчальний посібник / В.В. Близнюк, В.Б. Добровольський, Д.В. Зайцев – К.: ВД «СКІФ». 2022. – 212 с.
Дії механізованого відділення при озброєнні бойової машини піхоти БМП-2: навчальний посібник / Д.В. Зайцев, В.Б. Добровольський, О.С. Дем'янюк, А.П. Наконечний – К.: ВД «СКІФ». 2022. – 120 с.