

УДК 621.317.757

**ЛОГВИНЕНКО М.М.**, старший науковий співробітник

**ПЕЧУРА Д.С.**, старший науковий співробітник, кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник

**ВАБІЩЕВИЧ О.В.**, науковий співробітник

## **ВЕКТОРНА МОДЕЛЬ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ З ЧАСТОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ**

*Розглянуто питання статистичної теорії систем автоматичного управління з частотно-імпульсною модуляцією та методи математичного опису таких систем і формування їх моделей*

*Ключові слова: система автоматичного управління, частотно-імпульсна модуляція, інфрачервона головка самонаведення*

Системи автоматичного управління з частотно-імпульсною модуляцією широко розповсюджені у технічних галузях. Основними сферами їх застосування є радіолокація й радіонавігація, автоматика, телеуправління й оптико-електронні системи наведення. Перед усім це пов'язано з можливістю отримання високих показників якості управління при відносно простій технічній реалізації. Але дослідження (аналіз і синтез) таких систем є серйозною проблемою.

Принцип дії систем автоматичного управління з частотно-імпульсною модуляцією полягає в перетворенні різноманітних фізичних величин у модульований по частоті електричний сигнал з наступним вимірюванням його параметрів й формуванням сигналу управління.

У роботі [1] було зроблено спробу розроблення статистичної теорії систем з частотно-імпульсною модуляцією, що пов'язана з необхідністю в більш адекватному описі реальних умов функціонування даних систем. Запропоновану для подальшого аналізу математичну модель системи було розроблено з використанням функціональних рядів Вольтерра, що дозволило визначати статистичні характеристики впливу різних випадкових факторів. Вольтеррівська модель системи автоматичного управління з частотно-імпульсною модуляцією дозволяла отримати асимптотичні точні значення статистичних характеристик, але це було досягнуто за рахунок значних трудомістких розрахунків й за умови, що відомі статистичні характеристики збурення.

Для детального дослідження систем автоматичного управління з оптико-електронними координаторами, до яких відносяться інфрачервоні головки самонаведення з частотно-імпульсною модуляцією, конче необхідно розробити нову математичну модель, яка б дозволила визначити реакцію системи на будь-які зміни вхідного впливу.

Аналіз принципу дії та конструктивних особливостей інфрачервоних головок самонаведення з частотно-імпульсною модуляцією [2] показує, що формування вихідного сигналу виконується циклічно, шляхом детектування частотно-модульованого сигналу продовж тривалості одного циклу. Тривалість одного циклу, як правило, дорівнює тривалості одного повного обертання оптичної системи координатора.

Порядок детектування частотно-модульованого сигналу докладно описано у роботі [3]. На виході частотного детектора, після відповідної фільтрації та підсилення, формується сигнал управління координатором інфрачервоної головки самонаведення. Сигнал управління координатором  $U_K(t)$  має форму подібну синусоїдальній і описується виразом

$$U_K(t) = U_{KM} \sin(\omega_0 t - \varphi_0), \quad (1)$$

де  $U_{KM}$  – амплітуда сигналу управління;  $\omega_0$  – кутова частота обертання оптичної системи координатора;  $\varphi_0$  – фаза сигналу управління.

Як показано у роботі [4] амплітуда сигналу управління залежить від сукупності всіх імпульсів отриманих під час одного циклу і може бути визначена у вигляді модуля векторної суми

$$U_{KM} = \left| \sum_{i=1}^N \bar{U}_i \right|, \quad (2)$$

де  $N$  – число імпульсів у сигналі несучої за один цикл;  $U_i$  – вектор одиночного керуючого впливу.

Модуль впливу одиночного керуючого впливу визначається як

$$U_i = (t_{in} - t_{ik})^2 - \int_{t_{in}}^{t_{ik}} U_{in}(t) dt, \quad (3)$$

де  $t_{in}, t_{ik}$  – час початку та кінця  $i$ -го імпульсу несучої;  $U_{in}(t)$  – сигнал  $i$ -го імпульсу несучої на виході підсилюючого тракту.

Напрямок дії  $i$ -го вектору в осях координат, пов'язаних з площею рулів ракети, визначається фазовим кутом

$$\Psi_i = \frac{\pi(t_{in} - t_{ik})}{T_0}, \quad (4)$$

де  $T_0$  – період обертання ротора координатора.

Сигнали управління у каналах курсу  $U_{ky}$  і тангажу  $U_{kz}$  визначаються як сума проєкцій всіх керуючих векторів на дві взаємно перпендикулярні вісі

$$\begin{aligned} U_{ky} &= \sum_{i=1}^N U_i \cos \Psi_i, \\ U_{kz} &= \sum_{i=1}^N U_i \sin \Psi_i. \end{aligned} \quad (5)$$

Враховуючи, що сигнали управління в каналах курсу і тангажу є проекціями сигналу управління на відповідні вісі, то

$$U_{KM} = (U_{ky}^2 + U_{kz}^2)^{0,5}, \quad (6)$$

а фаза сигналу управління

$$\varphi_0 = \arctg \frac{U_{kz}}{U_{ky}}, \quad (6)$$

Аналіз виразів 3...5 показує, що при обчисленні величини сигналу управління враховується вплив кожного імпульсу, при чому враховується не лише частота імпульсу, а і його форма.

Для перевірки адекватності запропонованої математичної моделі було розраховано модуляційні характеристики інфрачервоної головки самонаведення з частотно-імпульсною модуляцією типу "75Т". Розрахунки проводились за умови переміщення джерела випромінювання від оптичної вісі координатора до границі миттєвого кута поля зору. Порівняння розрахункових даних з експериментальними результатами показує, що відносна похибка між ними не перевищує 10%.

Таким чином, векторна модель системи автоматичного управління з частотно-імпульсною модуляцією дозволяє досліджувати реакцію не лише існуючих систем, а й систем, що проектуються. Обмеження у використанні моделі залежать тільки від можливості імітації зміни зовнішніх факторів впливу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Попков Ю.С., Ашимов А.А., Асубаев К.Ш. Статистическая теория автоматических систем с динамической частотно-импульсной модуляцией. – М.: Наука, 1988. – 256 с.
2. Криксунов Л.Э. Следящие системы с оптико-электронными координаторами. – К.: Техника, 1991. – 156 с.
3. Павленко Ю.Ф., Шпаньон П.А. Измерение параметров частотно-модулированных колебаний. – М.: Радио и связь, 1986. – 208 с.
4. Логвиненко М.М. Дослідження впливу хибних тепловипромінюючих цілей на інфрачервоні головки самонаведення керованих ракет / М.М. Логвиненко, О.В. Вабіщевич, О.В. Ільїна // Зб. наукових праць ДНДІА. – К.: ДНДІА, 2016, вип. 12(19). – С. 223-227