

# АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 621.311:537

*М.А. Дороніна*

*(Україна, Дніпропетровськ, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»)*

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ЗА НАЯВНОСТІ ЗБУРЕНЬ ХВИЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ШЛЯХОМ ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОГО СПОСТЕРІГАЧА

**Вступ.** У сучасній науці та техніці все більше постає проблема забезпечення точності динамічних вимірювань. Це питання стосується не лише гірничої галузі але й багатьох інших, що спираються на отримання максимально точних та достовірних даних. Часто врахувати динамічну складову похибки при впливі зовнішніх збурень шумової та хвильової природи, забезпечити потрібну точність дуже складно. Розв'язання фундаментальної проблеми ефективної протидії збуренням динамічного характеру є однією з основних задач метрології. З розвитком сучасних систем обробки інформації підвищуються вимоги до характеристик точності. Серед збурень динамічного характеру можна виділити, типу шум та хвильовий вплив. Перший легко корегується за допомогою «білого шуму» або «кольорового шуму». Але збуренням хвильової природи доволі складно протидіяти використовуючи класичні принципи [1, 2]. А тому доцільно використовувати принцип «теорії регуляторів, що пристосуються до збурень» (РПЗ), описаних в роботі С. Джонсона та Ю.Н. Андеєва [3, 4].

**Мета роботи.** Оцінити збурення хвильової структури, що впливають на досліджуваний об'єкт. Вирішити задачу оптимального спостерігача.

**Основна частина.** Зовнішні впливи можуть бути корисними і шкідливими. Корисні сигнали, що виробляються додатковим пристроєм, є повністю спостережуваними та сприяють роботі системи. Збурення на відміну від них, як правило, не є спостережуваними, контрольованими та випадковими сигналами. У результаті вихідні змінні об'єкта визначаються не тільки вхідними параметрами, але й неспостережуваними і випадковими впливами, що викликає неконтрольовані відхилення вихідних змінних від заданих значень. При повторенні процесу вимірювання вихідні змінні можуть мати різні значення при одних і тих самих вхідних параметрах. Вихідна величина об'єкта при кожному повторному циклі в цьому випадку являє собою реалізацію одного і того ж випадкового процесу. Таким чином, під дією неспостережуваних, некерованих і випадкових зовнішніх впливів спостережувані змінні об'єкта також стають випадковими сигналами, які є реалізаціями випадкового процесу [5].

Для кількісної оцінки та порівняння випадкових сигналів використовуються різні характеристики цих сигналів, які існують об'єктивно, але не можуть бути виміряні. Визначення таких характеристик залежить від закону розподілу та кількості реалізацій випадкового процесу. Зазвичай такі характеристики обчислюються приблизно з певною похибкою. До таких характеристик відносяться: математичне очікування, функція розподілу, дисперсія випадкового сигналу, кореляційні функції та ін. Оцінка цих випадкових сигналів відбувається на основі прийняття гіпотез про стаціонарність та ергодичність випадкового сигналу.

Для отримання математичної моделі зовнішніх збурень часто використовують метод формувального фільтру. Моделювання випадкового сигналу цим методом здійснюється завдяки припущенню, що він є реакцією лінійної системи на випадковий вхідний сигнал, характеристики якого відомі. Але розрахований формувальний фільтр може бути нестабільним та при аналізі хвильових та шумових процесів може виникати зсув спектральних піків.

Вперше задача оптимального спостерігача була розглянута в роботах Р.Калмана та Бьюси. Початкова постановка задачі була сформульована таким чином: нехай не всі змінні стану об'єкта доступні безпосередньому виміру і як в реальних умовах на систему впливають різні зовнішні фактори [5]. У цьому випадку об'єкт можна описати рівняннями (1).

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= Ax(t) + Bu(t) + Jw(t) \\ y(t) &= Cx(t) + v(t) \end{aligned} \quad (1)$$

де,  $A, B, C$  - матриці відповідних коефіцієнтів;  $x(t)$  - вектор стану системи;  $y(t)$  - вектор спостережень системи;  $u(t)$  - вектор вхідного сигналу;  $w(t)$  - вектор зовнішніх збурень;  $v(t)$  - вектор шумів вимірювань. Передбачається, що початкові умови не залежать від характеру збурень і перешкод, а математичне очікування і дисперсія початкових умов відомі та мають вигляд

$$M[x(0)] = \bar{x}(0)$$

$$D(0) = M\{[x(0) - \bar{x}(0)][x(0) - \bar{x}(0)]^T\}$$

Для оцінки такого об'єкта можна використати математичну модель об'єкта.

$$\frac{d\hat{x}(t)}{dt} = A\hat{x}(t) + Bu(t), \quad \hat{x}(t_0) = \hat{x}(0).$$

Цей вектор повинен дорівнювати  $x(t)$  та може бути вимірян, тому що його складові є змінні стану моделі. Навіть, якщо математичний опис виконано правильно є ймовірність, що з часом з'являться порушення та зміни вихідних параметрів моделі не буде точно відтворювати зміни координат об'єкта. Для зменшення цього порушення вводять сигнал помилки відтворення змінних  $e$ , яка задовольняє рівнянню

$$\frac{de(t)}{dt} = Ae(t) \quad e(t_0) = x(0) - \hat{x}(0).$$

При умові, що об'єкт стійкий, то помилка відтворюваності з часом буде зменшуватись, в ідеалі наблизиться до 0. Для поліпшення збіжності оцінки вводять вагову нев'язку фактично виміряних  $y$  та змодельованих  $\hat{y}$ . Тоді отримаємо наступне рівняння

$$\frac{de(t)}{dt} = [A - KC]e(t), \quad (2)$$

де  $K$  - певна вагова матриця, тобто матриця коефіцієнтів посилення спостерігача[6].

Таким чином, для оцінки об'єкта (1) потрібно побудувати спостерігач стану повного порядку, що згідно з рівнянням (2) описується таким чином:

$$\frac{d\hat{x}(t)}{dt} = A\hat{x}(t) + K[y - C\hat{x}(t)] + Bu(t). \quad (3)$$

По-перше для побудови спостерігача повного порядку потрібно, щоб об'єкт був відновлюваним, тобто щоб існувала можливість відновити вектор не вимірюваних координат за вектором виміряних. Система  $n$ -ого порядку, яка описується рівняннями (1) буде вважатися повністю відновлювана, якщо ранг матриці  $Q$  відновлюваності дорівнює  $n$ .

$$Q = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ \dots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix}$$

Фізично умова відновлюваності зводиться до того, щоб між не вимірюваними та вимірюваними змінними існував взаємозв'язок. Таким чином, спостерігач повного порядку (рис. 1) дозволяє оцінити увесь вектор стану, не дивлячись на те що складові вектора спостереження системи  $y(t)$ , можуть бути виміряні безпосередньо, а розраховується на основі відомої структури та параметрів об'єкта.

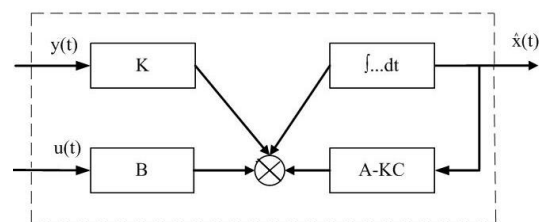


Рис. 1. Структура спостерігача повного порядку

Невідомі коефіцієнти спостерігача знайдемо з виразу:

$$K = PC^T, \quad (4)$$

де  $P$  - матриця, що складається з коренів рівняння Ріккати

$$AP + PA^T - PC^T R_v^{-1} CP + JR_w G^T = 0 \quad (5)$$

якщо,  $R_v, R_w$  - коваріаційні матриці.

Моделі збурень, що основані на РПЗ здатні точно відображати широкий спектр реальних невідомих впливів. Для того, щоб коректно представити модель збурень для подібної системи (1) потрібно визначити базисні функції  $f_1, \dots, f_r$  сигналу  $\omega(t)$ . Які апроксимують сигнал  $\omega(t)$  на більш великих інтервалах часу, зменшують значення порядку рівняння за рахунок ускладнення алгебраїчної структури, та навпаки, на короткому інтервалі часу. Крім цього, потрібно враховувати частоту стрибків  $c_1, \dots, c_r$ , яка має бути в межах динамічних можливостей реальної системи. Модель збурення можна представити у вигляді кусково-детермінованого аналітичного виразу:

$$\omega(t) = c_1 f_1(t) + c_2 f_2(t) + \dots + c_r f_r(t) \quad (6)$$

Визначимо оптимальний спостерігач для об'єкта, що описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dx_1(t)}{dt} = x_2(t) + w(t) \\ \frac{dx_2(t)}{dt} = -26x_1(t) - 2x_2(t) + 26x_3(t) + 23,4u(t) \\ \frac{dx_3(t)}{dt} = x_3(t) \\ y(t) = x_1(t) + x_3(t) + v(t) \end{cases} \quad (7)$$

У якості вхідного сигналу (рис. 2) приймемо  $u(t) = 10$ , а за сигнал збурення хвильової структури  $w(t) = 10 + 0.1 \sin(5t)$ . За допомогою пакета MatLab розрахуємо невідомі коефіцієнти  $K$  та  $P$ , визначимо реакцію системи на вхідний сигнал із зовнішніми збуреннями (рис. 4) та завадою спостереження (рис. 3), побудуємо спостерігача повного порядку (рис. 5).

Отримаємо матрицю коефіцієнтів підсилення спостерігача повного порядку  $K$  для системи (7), при якій функціонал досягає мінімального значення.

$$K = \begin{bmatrix} 4.42 \\ 17.83 \\ 1.86 \end{bmatrix}.$$

Далі розрахуємо, коефіцієнти матриці  $P$ , що є рішенням рівняння Ріккати.

$$P = \begin{bmatrix} 4.28 & 9.78 & 0.13 \\ 9.77 & 206.22 & 8.05 \\ 0.13 & 8.05 & 1.71 \end{bmatrix}$$

То ж спостерігач повного порядку для об'єкта, що описується системою рівнянь (5) можна представити у вигляді:

$$\frac{d\hat{x}(t)}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -26 & -2 & 26 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \hat{x}(t) + \begin{bmatrix} 4.42 \\ 17.83 \\ 1.86 \end{bmatrix} [y - [1 \ 0 \ 1]\hat{x}(t)] + 23.4u(t) \quad (8)$$



Рис. 2. Вхідний сигнал разом з зовнішнім збуренням

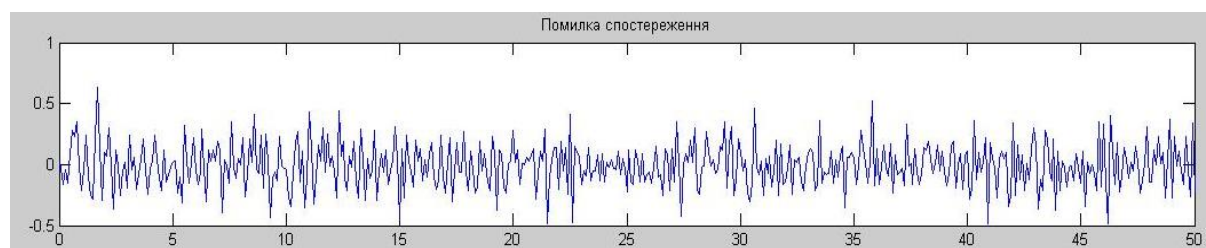


Рис. 3. Завада спостереження хвильової структури



Рис. 4. Реакція системи на вхідний сигнал



Рис. 5. Виходи спостерігача

**Висновок.** Використання елементів «теорії регуляторів, що пристосуються до збурень», дозволяє ефективно представити збурення хвильової природи, а за допомогою оптимального спостерігача можна врахувати не лише зовнішні збурення, що діють на систему але й шуми вимірювання. Такий підхід дієво працюватиме і для інших засобів вимірювання з відомою структурою та невідомими параметрами.

### Список літератури

1. Егунов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. Учебник. Том 1. / Н.Д. Егунов, К.А. Пупков. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. - 748 с.
2. Полярус О.В. Наближене розв'язання оберненої задачі вимірювань та його метрологічне забезпечення : монографія / О.В.Полярус, Є.О.Поляков.-Х.: видавництво «Лідер»,2014.-120с. – 978-966-2732-23-8.
3. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами / Ю.Н. Андреев.- М.: Наука, 1976.- 424 с.
4. Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах / Пер. с англ. Под ред. К.Т. Леондеса. М.: Мир, 1980.- 408 с.
5. Семенов А.Д. Идентификация объектов управления. / А.Д.Семенов, Д.В.Артамонов, А.В.Брюхачев.- П.: Пенз. гос. ун-та, 2003.-215 с.
6. Оптимальные и адаптивные системы управления: метод. указания. для студентов специальности 0606 //Днепропетровский государственный институт- 1984.-44с.

*Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Корсуном В.І.*