

*Альошин Г. В., д.т.н., проф.,  
Панченко С. В., д.т.н., проф.,  
Приходько С. І., д.т.н., проф.  
(Український державний університет  
залізничного транспорту)*

## ШЛЯХИ РОЗВИТКУ ТЕОРІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Теорії систем автоматичного керування (САК) в радіоелектроніці приділено багато уваги [1] у багатьох напрямках. Але ще недостатньо досліджені такі проблеми: 1) недостатньо розвинута інформаційна частина САК, яка типи вимірювачей і засобів боротьби з завадами, 2) протиріччя між точністю вимірювань і часом регулювання у залежності від задавального сигналу, 3) некоректність передавальної характеристики САК при її синтезі. За рахунок послідовного підключення елементарних ланцюгів.

**Перша проблема** мало враховує те, що вимірювачі повинні бути оптимальними, реалізованими за будь-яким типом, у тому числі цифрові, і що їх ефективність визначається вже, як мінімум, за п'ятьма показниками: 1) точність, 2) достовірність, 3) вплив апіорного діапазону, 4) час вимірювання, 5) вартість вимірювача. Три останні – враховуються вперше.

В той же час теорія САК стосується в основному тільки блоку виконання, або регулятора. Тому такі показники САК як її точність і час регулювання поданий з похибкою.

Вирішення першої проблеми дозволяє вперше отримати наступні результати: 1) класифікацію радіоелектронних вимірювачів, 2) їх особливості та ефективність – точність та інші згадані показники і їх взаємозв'язок, 3) їх оптимальність за вектором показників, 4) виявити крім відомих типів вимірювачів (дискримінаційних, пошукових, або панорамних багатоканальних, багатощкальних) також нові – багатоступінні з однаковими типами шкал та з різними типами, 5) доведено, що усі показники, в тому числі час вимірів, впливають на показники САК.

**Друга проблема** у тому, що треба виявити, як пов'язані точність і потрібний час регулювання САК з показниками регулюваного процесу, як впливає на САК точність і час вимірів параметрів.

Будь-який процес вимірювання при обмеженому рівні сигналу потребує затрат певного часу  $t_e$ . Якщо задавальний сигнал змінюється швидше часу вимірювання і часу регулювання, то це може привести до спотворення або зриву процесу стеження САК.

Якщо задавальний (еталонний) процес призначений для стабілізації випадкового керуемого параметру, то час виміру не повинен перевищувати час кореляції задавального процесу  $t_k$ .

$$t_3 < t_k.$$

Якщо маємо справу зі стеженням за задавальним параметром, то максимальний час виміру не повинен перевищувати такого його значення, яке витікає з теореми Котельникова В.А.:

$$t_{3\max} \leq \frac{1}{2f_{\max}},$$

де  $f_{\max}$  – максимальна частота спектра задавального сигналу.

При цій умові задавальний сигнал мало зміниться. Але цій умові недостатньо, щоб визначити умову відсутності зриву супроводження параметра при певній смугі вдержання.

У той же час похибка вимірювання різниці параметрів залежить від часу виміру, або від відношення сигнал/завада, яке підвищується звуженням смуги частот САК, тобто за рахунок збільшення часу виміру.

Загальна дисперсія похибки САК складається з дисперсій незалежної похибки вимірювання різниці задавального сигналу і сигналу стану об'єкта та похибки регулювання. Тоді дисперсія загальної похибки САК:

$$\sigma_3^2 = \sigma_e^2 + \sigma_p^2,$$

де  $\sigma_3, \sigma_e, \sigma_p$  – середньоквадратичні похибки відповідно загальна, вимірювальна та регулювання.

Чим більший час вимірювання, тим менша похибка вимірювань, тому що більш вузька смуга вимірювача для боротьби з завадою. При цьому смуга вимірювача повинна відповідати смугі задавального процесу. Але час вимірювання повинен бути не більший за час регулювання. Тому що можуть бути спотворення процесу з-за запізнювання.

Менший час вимірювання недоцільний, тому що похибка вимірювань збільшує похибку САК. Оптимальне значення – час вимірювань рівний часу регулювання.

Тепер потрібно визначити, як впливає задавальний процес на час регулювання. Швидкодія САК, або час регулювання параметра, обмежується зверху швидкістю зміни задавального параметра, а знизу – ускладненням системи.

Тоді **умовою неспотворення** вихідного сигналу може служити вираз:

$$|\dot{Y}(t_p)| \geq |\dot{X}(t_p)|,$$

де  $t_p$  – найгірший випадок – інтервал часу регулювання,

$\dot{X}$  – максимальна швидкість задавального процесу,

$|\dot{X}(t_p)|$  – модуль похідної задавальної функції.

Перехідна характеристика САК знаходиться зворотним перетворенням Лапласа:

$$Y(t_p) = \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma-j\omega}^{\sigma+j\omega} K(p) \frac{X_0}{p} \exp(pt) dp,$$

де  $K(p)$  - передаточна функція САК,  $X_0$  - значення задавального процесу спочатку регулювання, або в кінці часу його виміру (спостереження).

Для аперіодичної ланки (простішої САК) передаточна функція

$$K(p) = \frac{1}{1 + pT}.$$

Перехідна функція аперіодичної ланки має вигляд

$$Y(t_p) = X_0 h(t) = X_0 (1 - \exp(-\frac{t}{T})).$$

Тоді

$$|\dot{Y}(t_p)| = \min \left| -\frac{X_0}{T} e^{-\frac{t}{T}} \right| = \frac{X_0}{Te^3} \approx \frac{X_0}{3Te^2}.$$

Умова неспотвореного вихідного процесу

$$|\dot{Y}(t_p)| = \frac{X_0}{3Te^2} = \frac{X_0}{t_p e^2} \geq |\dot{X}(t_p)|.$$

Звідси для перехідного процесу інерційної ланки час регулювання  $t_p = 3T$  рівний:

$$t_p \leq \frac{|X_0|}{|\dot{X}(t_p)| e^2}.$$

Таким чином, при даному характері задавального процесу накладається жорстке обмеження до часу регулювання САК.

**Третьою проблемою** теорії САК є те, що у деяких підручниках декларується заманлива можливість заміни складної функції передачі САК високого порядку добутком функцій передачі елементарних ланок.

Взагалі це неможливо без прийняття спеціальних мір, тому що при з'єднанні пари ланок вхідний опір наступної ланки змінює результуючий вихідний опір. Тому коефіцієнт передачі попередньої ланки змінюється.

Заміна стане можливою з точністю 10% на одне з'єднання, якщо забезпечити, щоб вхідний опір наступної ланки був значно, наприклад, на порядок, більший вихідного опору попередньої ланки. Цього можна досягти за рахунок використання знижуючих трансформаторів, застосуванням емітерного, або

істокового повторювача, або польових транзисторів і т.і.

У результаті для певного числа ланок потрібно мати таке ж число (без одного) трансформаторів або розв'язуючих пристроїв та додатково мати теж число відповідних підсилювачів. Це ускладнює САК і частково знижує її стійкість.

Крім того, потрібний послідовний порядок застосування активних елементарних ланок з урахуванням їх динамічного діапазону.

### Література

1. Алешин Г.В., Богданов Ю.А. Эффективность сложных радиотехнических систем.- К. «Наукова думка», 2008.
2. Альошин Г.В., Лістровий С.В., Панченко С.В., Приходько С.І. Основи наукових досліджень./підручник/-УкрДАЗТ. 2012, 240с.
3. Альошин Г.В., Панченко С.В., Приходько С.І. Основи систем автоматизованого проектування інформаційно-вимірювальних систем./навчальний посібник/- УкрДАЗТ, 2012, 64с.

*Жученко А. С., к.т.н., доцент,  
Панченко С. В., д.т.н., професор,  
Приходько С. И., д.т.н., професор,  
Штомпель Н. А., к.т.н., доцент  
(Украинский государственный университет  
железнодорожного транспорта)*

УДК 621.391

### БИОИНСПИРИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ДЕКОДИРОВАНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ

Классическим подходом к повышению достоверности передачи данных в инфокоммуникационных системах и сетях является применение различных классов помехоустойчивых кодов [1]. Ранее для уменьшения вычислительной сложности декодирования кодовых конструкций использовались алгебраические процедуры, ориентированные на осуществление арифметических операций в конечных полях. Данный подход характеризуется относительно высокой вероятностью ошибки декодирования, что ограничивает область применения алгебраических методов декодирования в современных инфокоммуникационных технологиях, которые предъявляют высокие требования к достоверности передачи данных. Таким образом, сформулированная выше проблемная ситуация приводит к необходимости разработки новых методов декодирования различных помехоустойчивых кодов [1–3]. Предлагается использовать обобщенные биоинспирированные процедуры на ключевых этапах