

# ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТИВНИХ ПОРОГІВ У СИСТЕМАХ ВИЯВЛЕННЯ І ЛОКАЛІЗАЦІЇ НЕСПРАВНОСТЕЙ

Вінницький національний технічний університет.

## **Анотація**

Метою представленої роботи є дослідження проблеми стійкості формувачів різницевого сигналу, як джерела сигналу помилки в концепції модельно-орієнтованих методів виявлення, локалізації й ідентифікації несправностей. Оскільки основою зазначених методів є математична модель об'єкту контролю, то проблема стійкості щодо складової помилок моделювання є найбільш актуальною. Визначено, що використання адаптивних порогів характеризується як пасивний метод забезпечення стійкості, що не потребує додаткових зусиль для формування стійкого різницевого сигналу. Зауважено, що комбінація активних і пасивних методів забезпечення стійкості різницевого сигналу до зазначених невизначеностей може бути ефективним інструментом досягнення стійкості систем виявлення й локалізації несправностей у практичних ситуаціях

**Ключові слова:** Модельно-орієнтовані процедури виявлення несправностей, формувач різницевого сигналу, адаптивний поріг.

## **Abstract**

The aim of the presented work is to study the problem of the difference signal former stability as a source of the error signal in the concept of model-based methods for detecting, localizing and identifying faults. Since the basis of the methods used is a mathematical model of the controlled object, the problem of resistance to composite modeling errors is the actual modern problem. It has been determined that the use of adaptive thresholds is characterized as a passive method of ensuring resistance, which does not require additional efforts to form a stable difference signal. It is noted that a combination of active and passive methods for ensuring the resistance of the difference signal to the indicated uncertainties can be an effective tool for achieving the stability of systems for identifying and localizing faults in practical situations.

**Keywords:** The model oriented procedures of fault detection, differential signal former, adaptive threshold.

## **Вступ**

Поліпшення стійкості діагностичних схем до різноманітних невизначеностей можливо досягнути на стадії прийняття розв'язків. На практиці зміни параметрів, збурювання й шуми задовольняють умовам стійкості різницевого сигналу в рідких випадках. Зокрема це стосується помилок моделювання [1]. У зв'язку із цим встає необхідним вживання заходів до підвищення стійкості не тільки в процесі формування різницевого сигналу, але й на етапі прийняття розв'язків. У цьому випадку говорять про пасивну стійкість систем функціональної діагностики [2]. Пасивна стійкість, у даному контексті, розглядається в якості альтернативи активної стійкості. Така форма стійкості, використовується, як правило, при наявності дуже обмеженої інформації про контрольовану систему. Метою цієї операції є зменшення кількості неправильних спрацьовувань і пропусків, обумовлених впливом помилок моделювання [3] й невідомих збурень на різницевий сигнал. Цього можливо досягнути декількома шляхами, наприклад, обробкою статистичних даних, усередненням або шляхом використання відповідних порогів.

На практиці різницевий сигнал ніколи строго не дорівнює нулю, навіть у випадку відсутності несправностей. Звичайно випробування на поріг проводяться на заключній стадії формування різницевого сигналу. Як правило, значення граничної величини вибирається трохи більшим, ніж сама більша амплітуда різницевого сигналу при відсутності несправностей. Найменша несправність, яку можна виявляти являє собою несправність, яка так змінює функцію різницевого сигналу, що відбувається просте перевищення заданого порогу. Будь-яка несправність, яка викликає зміни різницевого сигналу, які не перевищують цього значення, вважаються невиявленими. Таким чином, під забезпеченням стійкості, передбачається як зменшення граничного значення при відсутності несправностей і його збереження (або навіть збільшення) з появою несправності. З такого погляду методи, що вико-

ристовуюють змінні пороги в строгому розумінні не є дійсно стійкими методами функціональної діагностики. Проте, вони можуть бути об'єднані в окремих клас методів, що називаються пасивними методами забезпечення стійкості діагностичних схем.

### Принцип використання адаптивного порогу у системах виявлення несправностей

Звичайно, етап ухвалення рішення завершується процесом випробування на поріг, однак вибір потрібного порогу зовсім непросте завдання, як видається на перший погляд. У випадку фіксованого порогу при його завищеному значенні маємо зменшення чутливості до несправностей, якщо ж граничний рівень занижений, то зростає кількість неправильних спрацьовувань. Строго обґрунтування вибору порогу досить делікатна проблема. Безсумнівно, що поріг треба вибирати оптимально. У роботах [2, 4] показано, що цього можна досягти на основі теорії марковських процесів. Визначення зазначених порогів вивчалось також у часовій області [5] на основі операцій з нормами векторів і матриць.

При великому динамічному діапазоні амплітуд сигналів несправностей граничні величини також будуть суттєво змінюватися, так, що в підсумку неможливо буде знайти прийнятний фіксований поріг, що задовольняє умовам мінімізації помилок першого роду (фіктивних тривог) і другого роду (пропусків сигналів несправності). Розв'язок полягає в застосуванні змінних, тобто адаптивних порогів [6]. Тут величина порога визначається законом керування, який залежить від шумів і властивостей сигналу несправності в контрольованій системі. Застосування адаптивного порога ілюструється рис. 1, де показана типова форма адаптивного порогу у випадку прямого оцінювання різницевого сигналу. Певний інтерес представляє питання опису аналітичної залежності, яка б визначала форму змінного порогу. В [3] для цієї мети застосовано емпірично-адаптивний підхід, у той час як у [4] запропоновано схему адаптивного граничного селектора.

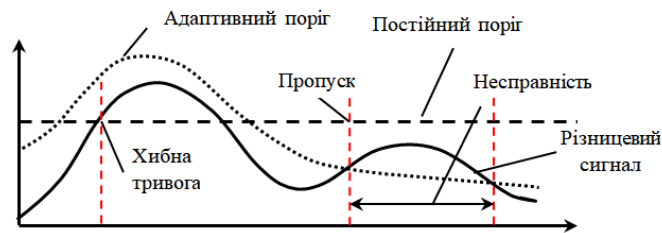


Рис. 1 – Застосування адаптивного порога

Проведені дослідження показали, що форму зміни адаптивного порога можливо розраховувати аналітично за допомогою певної систематичної процедури, що являє собою інноваційний інструмент для аналізу й синтезу стійких систем виявлення й локалізації несправностей.

Припустимо, що умовою розв'язки невизначеностей, що з'являються через збурювання, є рівняння

$$\mathbf{H}_y(s)\mathbf{G}_d(s) = 0, \quad (1)$$

де  $\mathbf{H}_y(s)$  – матрична передатна функція формувача різницевого сигналу, яку можна реалізувати в лінійній стійкій системі;  $\mathbf{G}_d(s)$  – матрична передатна функція збурень, що є еквівалентною помилкам моделювання.

Невизначеності, що проявляються в різницевому сигналі, обумовлені тільки помилками моделювання, тобто різницевий сигнал при відсутності несправностей можна описати співвідношенням:

$$\mathbf{r}(s) = \mathbf{H}_y(s)\Delta\mathbf{G}_u(s)\mathbf{u}(s). \quad (2)$$

де  $\Delta\mathbf{G}_u(s)$  – матрична передатна функція збурень, що пов'язана з помилками математичної моделі об'єкту контролю;  $\mathbf{u}(s)$  – вхідний сигнальний вектор.

Далі припустимо, що помилки моделювання перебувають у межах  $\pm\delta$ , тобто  $\Delta\mathbf{G}_u(j\omega) \leq \delta$ . У цій ситуації, частотний відгук при відсутності несправностей буде обмежений межами:

$$\mathbf{r}(j\omega) = \mathbf{H}_y(j\omega)\Delta\mathbf{G}_u(j\omega)\mathbf{u}(j\omega) \leq \mathbf{H}_y(j\omega)\mathbf{u}(j\omega)\Delta\mathbf{G}_u(j\omega) \leq c\mathbf{H}_y(j\omega)\mathbf{u}(j\omega). \quad (3)$$

Отже, величина адаптивного порога  $T(t)$ , який формується лінійною динамічною системою, буде наступною

$$T(s) = \delta \mathbf{H}_y(s) \mathbf{u}(s)$$

Неважко побачити, що поріг  $T(t)$  не є фіксованим, тому що залежить від вхідного сигналу, і в такий спосіб стає адаптивним при працюючій системі. Несправність, при цьому, фіксується при виконанні нерівності  $\|r(t)\| > \|T(t)\|$ . Стійка схема функціональної діагностики з адаптивним порогом, формованим граничним селектором показана на рис. 2.

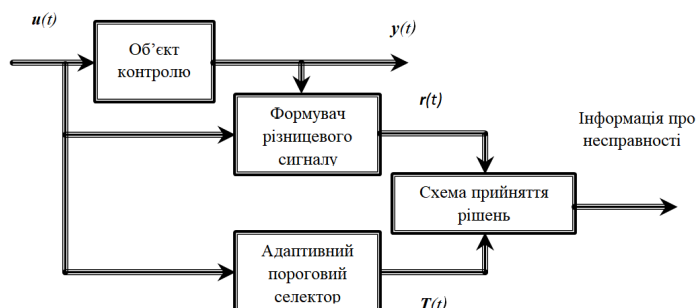


Рис. 2 – Система виявлення й локалізації несправностей із застосуванням адаптивного граничного селектора

### Висновки

1. Використання адаптивних порогів характеризується як пасивний метод забезпечення стійкості, цим самим, ще раз підкреслюється, що не приймається ніяких додаткових зусиль для формування стійкого різницевого сигналу.

2. Комбінація активних і пасивних методів забезпечення стійкості різницевого сигналу до зазначених невизначеностей може бути ефективним інструментом досягнення стійкості систем виявлення й локалізації несправностей у практичних ситуаціях.

3. Невід'ємною частиною процедури виявлення несправностей є формувач залишкового різницевого сигналу і пристрій оцінювання залишків цього різницевого сигналу. Успіх у досягненні стійкості в схемах функціональної діагностики, значною мірою, залежить від точності й правильності вибору математичної моделі контрольованого процесу.

4. При розв'язку завдань, пов'язаних зі стійкістю діагностичних схем до різноманітних невизначеностей, питання адекватності й точності процесу моделювання повинно бути приділено найбільшій увагу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Volovyk A. , Kychak V. , "Detection Filter Method in Diagnostic Problems for Linear Dynamic Systems," Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika Radioaparobuduvannia, 2021, Iss. 84, pp. 30–39 DOI: <https://doi.org/10.20535/RADAP.2021.84>
2. Patton, R. J. and Chen, J. (1993a). Advances in fault diagnosis using analytical redundancy, IEE Colloquium on "Plant Opt2imisation for Profit (Integrated Op pp. 6/1 - 6/12. TEE Colloquium Digest-erations Management and Control)", No. 1993/019.
3. Воловик А. Ю., «Моделльно-орієнтовані процедури виявлення несправностей (2021)», Вінниця, 2021. [Електронний ресурс]. С. 1712-1715/ Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/allvntu/index/pages/view/zbirn2021>.
4. Walker, B. (1989). Fault detection threshold determination using markov theory, in R. J. Patton, P. M. Frank and R. N. Clark (eds), Fault Diagnosis in Dynamic Systems, Theory and Application, Prentice Hall, chapter 14, pp. 477-508.
5. Seliger, R. and Frank, P. M. (1993). Robust residual evaluation by threshold selection and a performance index for nonlinear observer-based fault diagnosis, Proc. of Int. Conf. on Fault Diagnosis: TOOLDIAG'93, Toulouse, pp. 496-504.
6. Emami-Naeini, A. E., Akhter, M. M. and Rock, S. M. (1988). Effect of model uncertainty on failure detection: the threshold selector, IEEE Trans. Automat. Contr. AC-33(2): 1106-1115.

**Воловик Андрій Юрійович** – канд. техн. наук, доцент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [voland@vntu.edu.ua](mailto:voland@vntu.edu.ua).

**Volovyk Andrii U.**– Ph.D. (Eng), Associate Professor of Radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [voland@vntu.edu.ua](mailto:voland@vntu.edu.ua).