

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ АДАПТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ В УМОВАХ ВНУТРІШНЬОСИСТЕМНИХ ЗБУРЕНЬ

Скачков В. В.¹, Братченко Г. Д.², Єфимчиков О. М.¹, Павлович В. І.³

*Військова академія¹
Одеська державна академія технічного регулювання та якості²,
Одеський національний політехнічний університет³
65009, м. Одеса, вул. Фонтанська дорога, 10
v_skachkov@ukr.net*

ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА АДАПТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ВНУТРИСИСТЕМНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Скачков В. В.¹, Братченко Г. Д.², Єфимчиков А. Н.¹, Павлович В. И.³

*Военная академия¹
Одесская государственная академия технического регулирования и качества²,
Одесский национальный политехнический университет³
65009, г. Одеса, ул. Фонтанская дорога, 10
v_skachkov@ukr.net*

CRITERIA INDICATORS EVALUATING OF THE QUALITY OF ADAPTIVE INFORMATION-MEASURING SYSTEM IN THE CONDITIONS OF INTRASYSTEM PERTURBATIONS

Skachkov V.¹, Bratchenko H.², Yefymchykov O.¹, Pavlovich V.³

*Military academy¹
Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality²
Odessa national polytechnic university³
10 Fontans'ka road Odessa 65009,
v_skachkov@ukr.net*

Анотація. Виходячи з основних постулатів теорії збурень, запропоновано аналітичний підхід до оцінювання якості адаптації інформаційно-вимірювальної системи до зовнішнього середовища в умовах внутрішньосистемних збурень шляхом обчислювання критеріальних показників. Такими показниками обрано відношення критеріальних функціоналів, що їх визначають усередненням миттєвих значень функцій якості адаптації системи з врахуванням внутрішньосистемних збурень. Для ілюстрації можливостей розробленого підходу наведені результати кількісного оцінювання якості адаптації N -вимірної інформаційно-вимірювальної системи, параметричний вектор якої задовольняє рівнянню Вінера.

Ключові слова: критеріальні показники, адаптація, інформаційно-вимірювальна система, внутрішньосистемні збурення, критеріальний функціонал.

Аннотация. Исходя из основных постулатов теории возмущения, предложен аналитический подход к оцениванию качества адаптации информационно-измерительной системы к внешней среде в условиях внутрисистемных возмущений путем вычисления критеріальных показателей. В качестве таких показателей выбраны отношения критеріальных функционалов, которые определяют усреднением мгновенных значений функций качества адаптации системы с учетом внутрисистемных возмущений. Для иллюстрации возможностей разработанного подхода приведены результаты количественного оценивания качества адаптации N -мерной информационно-измерительной системы, параметрической вектор которой удовлетворяет уравнению Винера.

Ключевые слова: критеріальные показатели, адаптация, информационно-измерительная система, внутрисистемные возмущения, критеріальный функционал.

Annotation. Proceeding from the main postulates of perturbation theory the analytical approach to the evaluation of the quality of adaptation of information-measuring system to the environment in the conditions of intrasystem perturbation by calculation of criterion indicators is offered. Such indicators as a relation of criterion functionals are determined by averaging the instantaneous values of functions of quality of the

adaptation system with intrasystem perturbation are chosen. To illustrate the possibilities of the worked out approach the results of a quantitative evaluation of the quality of adaptation N- dimensional information-measuring system, parametric vector which satisfies to Winer's equation are presented.

Key words: criterion indicators, adaptation, information-measuring system, intrasystem perturbations, criterion functional.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досягнень і публікацій. Реальні інформаційно-вимірювальні системи (ІВС), як правило, функціонують в умовах апріорної інформаційної невизначеності стосовно стану самих систем і середовища їх існування. В таких умовах для вирішення інформаційно-вимірювальних задач застосовують адаптивні методи. Це дає можливість приймати відповідні рішення на основі використання лише поточних результатів вимірювань, компенсуючи таким чином апріорну невизначеність.

Основні теоретичні принципи адаптації, а також методи синтезу оптимальних інформаційно-вимірювальних систем, призначених для роботи в умовах невизначеності й недостатності апріорної інформації широко освітлені в [1–4]. Питання теорії і практики адаптивних систем, алгоритми їх функціонування і різні напрямки адаптивної обробки інформації, включаючи синтез різноманітних адаптивних фільтрів, розглянуті у роботах [5, 6].

У класичному поданні адаптивне поводження фізичного об'єкта стимулює зовнішнє середовище й тому до стимулів адаптації ІВС відносять зовнішні стохастичні завади з апріорно невідомими розподілами або параметрами цих розподілів. Однак, поряд з завадами, що діють на систему ззовні, у реальній ІВС завжди присутні джерела випадкових внутрішньосистемних збурень, які породжують внутрішньосистемну невизначеність. Безумовно, до класу внутрішньосистемних збурень відноситься внутрішній шум системи. Такий шум, як внутрішньосистемну заваду, зазвичай враховують у відомих методах синтезу адаптивних систем і визначає їх потенційні можливості. Однак, загальноприйняте обмеження всього класу внутрішньосистемних збурень поняттям “внутрішній шум” звужує проблему адаптації через ігнорування внутрішньосистемної невизначеності, породжуваної присутністю у системі шумів квантування і дискретизації, обчислювального шуму, а також різноманітних факторів, що декорелюють результати вимірювань. При впливі на інформаційно-вимірювальну систему “пофарбованого” шуму відомі алгоритми параметричної адаптації можуть виявитися настільки чутливими до рівня внутрішньосистемних збурень, що їх практичне застосування буде недоцільним. Це найбільш імовірно, коли кореляційна матриця спостережень має погану обумовленість і великий дефект [7].

Розроблені на сьогодні методи оцінки впливу внутрішньосистемних збурень на ефективність адаптивної обробки сигналів мають частковий характер і обмежені дослідженням фізичної сутності явищ. У відомій постановці проблему синтезу оптимальної ІВС розглядають без врахування внутрішньосистемних процесів, що збурюють. Це приводить до неадекватності математичної моделі тим реальним умовам, у яких передбачають функціонування системи. В результаті, практичні можливості інформаційно-вимірювальної системи не відповідають необхідному критерію оптимальності й виявляються значно нижчими за потенційні. Відсутність єдиного методологічного підходу до проблеми адаптації в умовах внутрішньосистемної невизначеності не дозволяє надати будь-які конструктивні рекомендації до практичної розробки ІВС, інваріантних до присутності внутрішньосистемних збурень. Тому актуальною є задача визначення спеціальних критеріальних показників оцінювання якості адаптації інформаційно-вимірювальної системи до зовнішніх завад в умовах внутрішньосистемних збурень.

Метою роботи є розробка методологічного підходу до оцінювання якості адаптивної інформаційно-вимірювальної системи, згідно якого єдиною мірою її ефективності обирають критеріальний функціонал, який за своїм визначенням об'єднує параметри корисних сигналів, зовнішніх і внутрішньосистемних завад.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Відповідно до відомих методів декомпозиції складних систем у будь-якої адаптивної ІВС за структурною та функціональною ознаками можна виділити основні типові компоненти, тобто підсистеми та взаємозв'язки між ними [3, 6]:

– підсистему спостереження, процес функціонування якої описують векторно-матричним рівнянням

$$Y = f(S, N, t), \quad (1)$$

де $f(*)$ – оператор, який визначає перетворення змінних системи та характеризує взаємодію системи з зовнішнім середовищем;

Y – вектор, що відображує результат реакції системи на зовнішні збурення N та корисний сигнал S ;

– підсистему опорних сигналів, яка формує бажану реакцію адаптивної системи S_0 на дії векторного сигналу Y . Звичайно, така реакція являє собою опорне значення критерію якості, яке задають або обчислюють за результатами процесів спостереження;

– підсистему помилки, на виході якої спостерігають сигнал неузгодженості (сигнал помилки) $E = S_0 - \hat{S}$ оцінки корисних сигналів \hat{S} з сигналами еталону S_0 . Сигнал помилки подають на відповідний вхід підсистеми адаптації для корегування її параметрів та характеристик;

– підсистему адаптації, в якій шляхом застосування операцій корегування та перетворення сигналів помилки E та спостереження Y формують оцінку \hat{S} . Алгоритм адаптивного корегування \hat{S} має такий вигляд:

$$\hat{S} = W(Y, E). \quad (2)$$

Узагальнена схема адаптивної системи та взаємозв'язки між її підсистемами на основі процедурного розподілення функцій згідно (1) і (2) наведено на рис. 1.

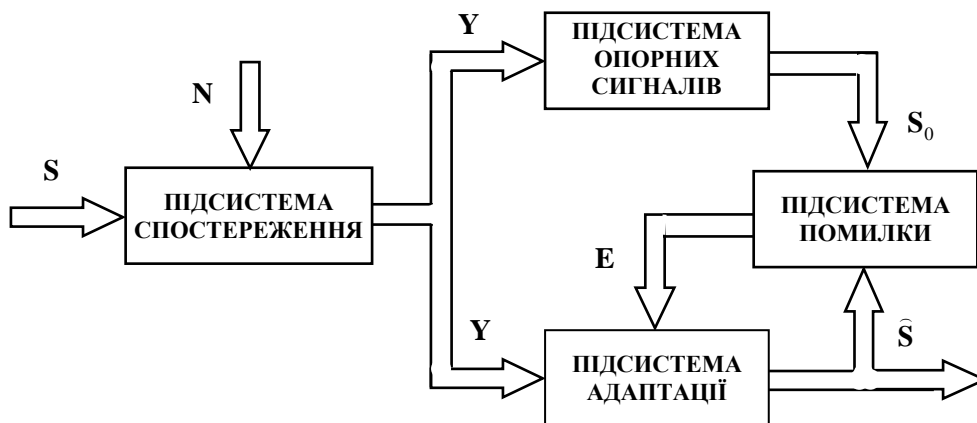


Рисунок 1 – Взаємозв'язок між компонентами адаптивної системи

Поставимо у відповідність до ситуації (Y, E) вихідні дані інформаційно-вимірjuвальної задачі $\Psi \sim \Psi(Y, E)$, які формулюють за результатами обчислювальних операцій на виходах підсистем спостереження та помилки (рис. 1). Перепишемо вираз для алгоритму адаптивного корегування (2):

$$\hat{S} = W(\Psi), \quad (3)$$

де $W(*)$ – оператор класу багатомірних перетворень, що зв'язує рішення алгоритму \hat{S} з ситуацією (Y, E) .

Оцінку ефективності алгоритму адаптивної обробки просторово-часових сигналів (3) пропонується виконати за допомогою критеріального функціоналу $J\{\mathbf{W}(\Psi)\}$, який визначають усередненням миттєвих значень функції якості $\xi\{\mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi)\}$

$$J\{\mathbf{W}(\Psi)\} = \int \xi\{\mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi)\} dF(\mathbf{Y}), \quad (4)$$

за умови вихідних даних

$$\Psi = \int \Psi(\mathbf{Y}, \mathbf{E}) dF(\mathbf{Y}), \quad (5)$$

де $F(\mathbf{Y})$ – функція розподілу випадкового процесу \mathbf{Y} , що його спостерігають, зі щільністю $p(\mathbf{Y})$: $dF(\mathbf{Y}) = p(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y}$.

Зрозуміло, що оптимальному алгоритму обробки просторово-часових сигналів $\tilde{\mathbf{S}} = \mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)$ відповідає екстремум критеріального функціонала (4)

$$J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)\} = \underset{\mathbf{W}(\Psi) \in \Omega}{\text{extr}} J\{\mathbf{W}(\Psi)\}. \quad (6)$$

Практично в усіх можливих ситуаціях вихідні дані (5), що необхідні для рішення інформаційно-вимірювальної задачі за критерієм (4), піддаються впливу завад, джерела яких присутні в кожній з розглянутих підсистем адаптивної інформаційно-вимірювальної системи (рис. 1).

Як відомо [6], дослідження властивостей будь-якої ІВС, що адаптується до зовнішніх завад в умовах внутрішньосистемних збурень, припускає вибір загального підходу до оцінки впливу збурень подібного класу на міру ефективності системи, обумовлену її критеріальним функціоналом. На підставі теорії збурень лінійної алгебри [7–9], визначимо загальний підхід до оцінки впливу внутрішньосистемних завад на функціональні можливості ІВС. Позначивши оцінки вихідних даних, що перебувають під впливом випадкових внутрішньосистемних завад, через $\tilde{\Psi}$, а результат їхньої обробки за алгоритмом $\mathbf{W}(\ast)$ через $\tilde{\mathbf{S}}$, запишемо

$$\tilde{\mathbf{S}} = \mathbf{W}(\tilde{\Psi}) = \mathbf{W}(\Psi, \Delta\Psi), \quad (7)$$

де $\Delta\Psi$ – випадкові внутрішньосистемні збурення вихідних даних.

Розрахований за формулою (7) сигнал помилки рішення характеризують елементом $\Delta\Psi = \tilde{\Psi} - \Psi$, який прийнято називати еквівалентним збурюванням [3, 6–9]. Якщо формулу (7) переформатувати:

$$\tilde{\mathbf{S}} = \mathbf{W}(\Psi + \Delta\Psi), \quad (8)$$

то еквівалентним збурюванням $\Delta\Psi$ можна апроксимувати внутрішньосистемну заваду, яка адитивно збурює вихідні дані, сформовані в адаптивній системі для рішення інформаційно-вимірювальної задачі за алгоритмом $\mathbf{W}(\ast)$. Дослідження залежності критеріального показника адаптивної ІВС від рівня внутрішньосистемних збурень припускає введення на безлічі вихідних даних Ψ метрики, що підходить для оцінювання величини $\Delta\Psi$.

Критеріальний функціонал адаптивної ІВС, у якій присутні внутрішньосистемні збурювання $\Delta\Psi$, відрізняючись від (4) аргументом, має вигляд

$$J\{\mathbf{W}(\Psi, \Delta\Psi)\} = \int \int \xi\{\mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi, \Delta\Psi)\} p(\Psi, \Delta\Psi) d\mathbf{Y} d(\Delta\Psi). \quad (9)$$

Відсутність статистичного зв'язку між випадковими сигналами спостережень \mathbf{Y} та внутрішньосистемних збурень $\Delta\Psi$ дозволяє переписати математичне представлення критеріального функціоналу (9) у наступній формі

$$J\{\mathbf{W}(\Psi, \Delta\Psi)\} = \int \int \xi\{\mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi, \Delta\Psi)\} p(\mathbf{Y}) p(\Delta\Psi) d\mathbf{Y} d(\Delta\Psi). \quad (10)$$

Вихідні дані Ψ для інформаційно-вимірювальної задачі, що її вирішують в багатомірній адаптивній ІВС, можна представити у векторно-матричній формі (1). Разом з цим, за фо-

рмального підходу до розробки методики дослідження впливу внутрішньосистемних збурень на ефективність адаптивної ІВС, можна дещо абстрагуватися від будь-якої специфіки представлення вихідних даних та правил виконання векторно-матричних операцій над ними. Така абстракція не обмежує узагальненого підходу, оскільки її можна легко усунути при розгляді конкретного алгоритму обробки інформаційних даних, оптимального згідно заданого критерію.

Припускаючи, що рівняння (3) диференціюється по параметру Ψ , пропонується провести його розкладання окіл $\Delta\Psi$ зазначеного параметра. Обмежуючись приростом першого порядку малості, отримаємо рівняння

$$\mathbf{W}(\Psi, \Delta\Psi) = \mathbf{W}(\Psi + \Delta\Psi) = \mathbf{W}(\Psi) + \frac{\partial \mathbf{W}(\Psi)}{\partial \Psi} \cdot \Delta\Psi. \quad (11)$$

Підставивши значення (11) в рівняння критеріального функціоналу (10), маємо такий результат:

$$J \{ \mathbf{W}(\Psi, \Delta\Psi) \} = \int \int \xi \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) + \Delta \mathbf{W}(\Delta\Psi) \} p(\mathbf{Y}) p(\Delta\Psi) d\mathbf{Y} d(\Delta\Psi), \quad (12)$$

де $\Delta \mathbf{W}(\Delta\Psi)$ – зміна аргументу критеріального функціоналу під впливом внутрішньосистемних збурень, яка дорівнює

$$\Delta \mathbf{W}(\Delta\Psi) = \frac{\partial \mathbf{W}(\Psi)}{\partial \Psi} \cdot \Delta\Psi. \quad (13)$$

З врахуванням того, що функція $\xi \{ * \}$ в рівнянні (12) має неперервні похідні по параметру $\mathbf{W}(\Psi)$, її формальне розкладання в межах аргументу $\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)$ приймає наступний вигляд

$$\begin{aligned} \xi \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi) + \Delta \mathbf{W}(\Delta\Psi) \} = & \xi \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi) \} + \frac{\partial \varphi \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi) \}}{\partial \mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)} \cdot \Delta \mathbf{W}(\Delta\Psi) + \\ & + \Delta \mathbf{W}^T(\Delta\Psi) \frac{\partial^2 \xi \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi) \}}{\partial \mathbf{W}_{\text{опт}}^2(\Psi)} \cdot \Delta \mathbf{W}(\Delta\Psi), \end{aligned} \quad (14)$$

де $\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)$ – оператор, який позначає результат оптимальної обробки сигналу.

Після підстановки варіації (13) у вираз (14) маємо результат

$$\xi \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) + \Delta \mathbf{W}(\Delta\Psi) \} = \xi \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) \} + \xi_1 \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) \} \Delta\Psi + \xi_2 \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) \} \Delta\Psi^2, \quad (15)$$

$$\text{де } \xi_1 \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) \} = \frac{\partial \varphi \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) \}}{\partial \mathbf{W}(\Psi)} \cdot \frac{\partial \mathbf{W}(\Psi)}{\partial \Psi}, \quad \xi_2 \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) \} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) \}}{\partial \mathbf{W}^2(\Psi)} \cdot \left(\frac{\partial \mathbf{W}(\Psi)}{\partial \Psi} \right)^2.$$

В зв'язку з незалежністю процесів $\Delta\Psi$ і \mathbf{Y} результат інтегрування виразу (15) відповідно до критеріального функціоналу (10) приймає вид

$$\begin{aligned} J \{ \mathbf{W}(\Psi, \Delta\Psi) \} = & \int \xi \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) \} p(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y} \times \int p(\Delta\Psi) d(\Delta\Psi) + \\ & + \int \xi_1 \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) \} p(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y} \times \int \Delta\Psi p(\Delta\Psi) d(\Delta\Psi) + \\ & + \int \xi_2 \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) \} p(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y} \times \int \Delta\Psi^2 p(\Delta\Psi) d(\Delta\Psi). \end{aligned} \quad (16)$$

Враховуючи, що в аналітичному запису (16) $\int p(\Delta\Psi) d(\Delta\Psi) = 1$, та, позначивши результати інтегрування залежностей $\xi_1 \{ * \}$ і $\xi_2 \{ * \}$

$$\begin{aligned} S_1 \{ \mathbf{W}(\Psi) \} &= \int \xi_1 \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) \} p(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y}; \\ S_2 \{ \mathbf{W}(\Psi) \} &= \int \xi_2 \{ \mathbf{Y}, \mathbf{W}(\Psi) \} p(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y}, \end{aligned} \quad (17)$$

можна записати результат обробки вхідних даних в умовах внутрішньосистемних збурень як залежність критеріального функціонала адаптивної ІВС (10) від статистичних моментів вну-

трішньосистемних збурень

$$J\{\mathbf{W}(\Psi, \Delta\Psi)\} = J\{\mathbf{W}(\Psi)\} + S_1\{\mathbf{W}(\Psi)\} \cdot M(\Delta\Psi) + S_2\{\mathbf{W}(\Psi)\} \cdot D(\Delta\Psi), \quad (18)$$

де $M(\Delta\Psi) = \int \Delta\Psi p(\Delta\mathbf{X}) d(\Delta\Psi)$ і $D(\Delta\Psi) = \int [\Delta\Psi - M(\Delta\Psi)]^2 p(\Delta\Psi) d(\Delta\Psi)$ – перший та другий статистичні моменти внутрішньосистемних збурень;

$S_1\{\mathbf{W}(\Psi)\}$ і $S_2\{\mathbf{W}(\Psi)\}$ – функції, що визначають чутливість адаптивної ІВС.

Позначимо зсування критеріального функціонала $J\{\mathbf{W}(\Psi)\}$ під впливом статистичних моментів внутрішньосистемних збурень як функціонали:

$$\begin{aligned} J_1\{M(\Delta\Psi)\} &= S_1\{\mathbf{W}(\Psi)\} M(\Delta\Psi); \\ J_2\{D(\Delta\Psi)\} &= S_2\{\mathbf{W}(\Psi)\} D(\Delta\Psi) \end{aligned} \quad (19)$$

та представимо рівняння (10) в остаточному вигляді

$$J\{\mathbf{W}(\Psi, \Delta\Psi)\} = J\{\mathbf{W}(\Psi)\} + J_1\{M(\Delta\Psi)\} + J_2\{D(\Delta\Psi)\}, \quad (20)$$

де $J\{\mathbf{W}(\Psi)\}$ – критеріальна функція системи за відсутності внутрішньосистемних збурень, яка визначається формулою (4).

Таким чином, міра ефективності інформаційно-вимірювальної системи, що адаптується до зовнішніх завад в умовах внутрішньосистемних збурень, визначається загальним критеріальним функціоналом (20). Останній відрізняється від своєї часткової форми (4), яка справедлива для умов відсутності в системі внутрішньосистемної невизначеності.

Позначивши різницю між значеннями критеріїв

$$\varepsilon(\Delta\Psi) = J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi, \Delta\Psi)\} - J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)\}, \quad (21)$$

проведемо формальний аналіз ситуацій:

– якщо $\varepsilon(\Delta\Psi) < 0$, то $J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)\} = \min_{\mathbf{W}(\Psi) \in \Omega} J\{\mathbf{W}(\Psi)\}$;

– якщо $\varepsilon(\Delta\Psi) > 0$, то $J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)\} = \max_{\mathbf{W}(\Psi) \in \Omega} J\{\mathbf{W}(\Psi)\}$.

Результати аналізу показують, що в умовах внутрішньосистемної невизначеності $\Delta\Psi \neq 0$, різниця $\varepsilon(\Delta\Psi) \neq 0$, тому унімодальна критеріальна функція $J\{\mathbf{W}(\Psi, \Delta\Psi)\}$ ніколи не досягне свого екстремального (оптимального?) значення, навіть за умови виконання в системі відповідних процедур, передбачених оптимальним алгоритмом обробки інформаційних даних $\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)$.

Розуміючи під адаптацією збіжність або пристосування параметрів інформаційно-вимірювальної системи до оптимальних величин за результатами навчання, процес адаптації іноді розглядають з позиції локальної інваріантності системи до змін зовнішньої ситуації [2, 3]. Ігнорування питання ступеню інваріантності алгоритмів адаптації ІВС до непереборних внутрішньосистемних завад, породжує невизначеність внутрішнього стану самої системи.

Якість адаптивних алгоритмів при необмеженому збільшенні розмірів навчальних вибірок визначається збіжністю їх до відповідних оптимальних алгоритмів з повною апріорною інформацією. У детермінованій ситуації, за умови, що селекцію інформаційно-вимірювального процесу здійснюють винятково для моделі стаціонарного “білого” шуму, оптимальним є узгоджений алгоритм обробки $\mathbf{W}_{\text{узгод}}(\Psi)$ випадкових процесів, що спостерігаються на вході адаптивної ІВС [2, 4, 6]. В цьому випадку у системі відсутня невизначеність, яка породжується впливом, як зовнішніх “пофарбованих” шумів, так і присутністю внутрішньосистемних завад, за винятком внутрішнього шуму. Результат узгодженої обробки сигналів спостережень за алгоритмом $\mathbf{W}_{\text{узгод}}(\Psi)$ дозволяє робити висновки про потенційні можливості адаптивної ІВС.

Як відомо, результат адаптації інформаційно-вимірювальної системи до умов зовнішнього середовища, що відповідає моделі “пофарбованого” шуму, оцінюють величиною критерію $J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)\}$. Він перевершує результат узгодженої обробки сигналів $J\{\mathbf{W}_{\text{узгод}}(\Psi)\}$. Крім того, як витікає з (18), у межах реальних можливостей результат реакції ІВС на дії зовнішніх завад залежить від статистичних моментів внутрішньосистемних збурень $\Delta\Psi$ та визначається величиною зміщеного критерію $J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi, \Delta\Psi)\} \neq J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)\}$, яка відповідає збуреному оптимальному алгоритму $\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi, \Delta\Psi)$.

Таким чином, чутливість адаптивної ІВС до впливу зовнішніх завад та присутності внутрішньосистемних збурень можна оцінити порівнявши між собою величини критеріальних показників $J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)\}$ та $J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi, \Delta\Psi)\}$. Процедура порівняння припускає ведення деякого відносного показника $\delta(\Psi, \Delta\Psi)$, який дозволяє судити про інваріантність адаптивної системи відносно зовнішніх завад та внутрішньосистемних збурень.

Для того, щоб визначити показник якості адаптивної ІВС до зовнішніх та внутрішньосистемних завад, прийmemo до уваги, що критеріальна функція системи $J\{\mathbf{W}(\Psi)\}$, яка адаптується по алгоритму $\mathbf{W}(\Psi)$, може бути обмежена знизу або зверху. Ця обставина накладає особливість на визначення відносного показника якості адаптації $\delta(\Psi, \Delta\Psi)$, що передбачається.

Коли критеріальна функція інформаційно-вимірювальної системи $J\{\mathbf{W}(\Psi)\}$ обмежена знизу на множині алгоритмів класу Ω , то результат узгодженої обробки спостережуваних процесів $J\{\mathbf{W}_{\text{узгод}}(\Psi)\}$ згідно алгоритму $\mathbf{W}_{\text{узгод}}(\Psi)$ можна прийняти в якості її нижньої грані

$$\inf_{\mathbf{W}(\Psi) \in \Omega} J\{\mathbf{W}(\Psi)\} = J\{\mathbf{W}_{\text{узгод}}(\Psi)\}. \quad (22)$$

За таких обставин показник якості адаптивної до зовнішніх завад і внутрішньосистемних збурень ІВС, визначають наступним чином:

$$\delta(\Psi, \Delta\Psi) = J\{\mathbf{W}_{\text{узгод}}(\Psi)\} / J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi, \Delta\Psi)\} \in [0, 1]. \quad (23)$$

Слід зазначити, що оптимальний алгоритм адаптації $\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi, \Delta\Psi)$ відноситься до класу алгоритмів, що мінімізують критерій $J\{\mathbf{W}(\Psi)\}$ у сталому режимі. Показник (23) дозволяє оцінити якість ІВС, які адаптуються за критеріями мінімуму середньоквадратичної похибки фільтрації процесу, мінімуму дисперсії шуму на виході системи та мінімуму середнього ризику.

За умови, що критеріальна функція інформаційно-вимірювальної системи $J\{\mathbf{W}(\Psi)\}$ обмежена зверху на множині алгоритмів класу Ω , результат узгодженої обробки процесів $J\{\mathbf{W}_{\text{узгод}}(\Psi)\}$, згідно алгоритму $\mathbf{W}_{\text{узгод}}(\Psi)$ представляє верхню грань критерію

$$\sup_{\mathbf{W}(\Psi) \in \Omega} J\{\mathbf{W}(\Psi)\} = J\{\mathbf{W}_{\text{узгод}}(\Psi)\}. \quad (24)$$

За таких обставин показник якості ІВС, що адаптується до зовнішніх завад в умовах внутрішньосистемних збурень, визначають іншим, відмінним від (23) способом:

$$\delta(\Psi, \Delta\Psi) = J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi, \Delta\Psi)\} / J\{\mathbf{W}_{\text{узгод}}(\Psi)\} \in [0, 1], \quad (25)$$

де $\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi)$ – оптимальний алгоритм адаптації системи, що максимізує критерій $J\{\mathbf{W}(\Psi)\}$ у сталому режимі.

Показник (25) дозволяє оцінити якість інформаційно-вимірювальної системи, що адаптується за критерієм максимуму відношення сигнал-шум.

Як приклад оцінювання якості адаптації N -вимірної ІВС в умовах внутрішньосистемної невизначеності за допомогою запропонованого критеріального показника (23) по результатах конкретизації функцій $J\{\mathbf{W}_{\text{узгод}}(\Psi)\}$ та $J\{\mathbf{W}_{\text{опт}}(\Psi, \Delta\Psi)\}$ аналітичним шляхом [10] були отримані залежності у вигляді графічних поверхонь, що наведені на рис. 2.

Дані поверхні відображують залежність цього показника від рівня внутрішньосистемних збурень лівої σ_A^2 та правої σ_a^2 частин матричного рівняння Вінера при фіксованих значеннях рангу $r(\mathbf{A})$, розмірності $N(\mathbf{A})$ та числа обумовленості q_A ермітової кореляційної матриці вихідних даних \mathbf{A} .

Порівняльний аналіз поверхонь (рис. 2, а, б) показує, що в умовах внутрішньосистемних збурень збільшення числа обумовленості q_A матриці вихідних даних \mathbf{A} веде до зниження ефективності системи з квадратичною критеріальною функцією мінімум на два порядки. Причому, середньоквадратичний критерій оптимальності є більш чутливим до рівня збурень σ_A^2 кореляційної матриці \mathbf{A} , ніж до збурень σ_a^2 вектору вільних членів рівняння Вінера.

Практичне застосування показника $\delta(\Psi, \Delta\Psi)$ у формі (23) або (25) визначається конкретною специфікою задачі, яку розв'язують. Виражений через критеріальні функціонали узагальнений показник якості адаптації ІВС до зовнішніх завад за присутності внутрішньосистемних збурень визначає ступінь відповідності реальних та потенційних можливостей системи в рамках досліджуваного критерію оптимальності.

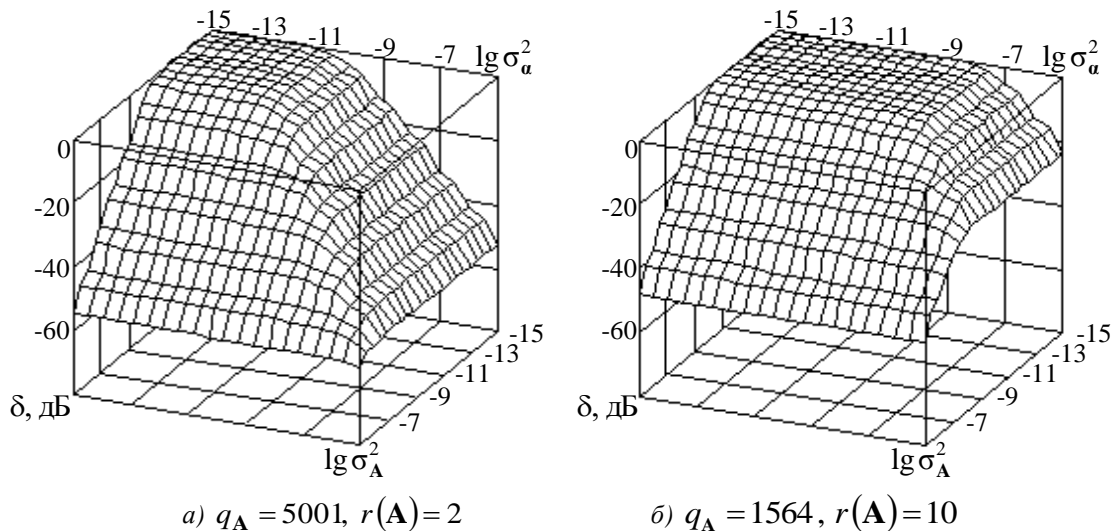


Рисунок 2 – Вплив внутрішньосистемних збурень на якість адаптації інформаційно-вимірювальної системи при $N(\mathbf{A})=10, q_0 = 30$ дБ

Висновки

Запропонований в роботі аналітичний підхід до визначення критеріальних показників оцінювання якості адаптивної ІВС при вирішенні багатомірних оптимізаційних задач є результатом застосування узагальненого методу найменших квадратів для дослідження чутливості до рівня внутрішньосистемних збурень методів, заснованих на використанні квадратичної функції штрафів.

Представлені результати у повній мірі узгоджуються з основними положеннями обчислювальної математики, теорії матриць, теорії збурень та можуть бути застосовані для аналізу ефективності різних класів інформаційно-вимірювальних систем, які адаптуються до зовнішнього середовища в умовах внутрішньосистемних збурень.

Розглянутий вище підхід дозволяє в ході вирішення оптимізаційних задач обґрунтувати для різних методів оцінювання припустимий рівень внутрішньосистемних збурень, при якому зниження числових значень критеріальних показників адаптивної інформаційно-вимірювальної системи не виходить за встановлені границі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции: в 4 т. / Г. Ван Трис; пер с англ. под ред. В.И. Тихонова.–М.: Сов. радио, 1972.– Т.1.– 744 с.
2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники: в 3 т. / Б.Р. Левин.– М.: Советское радио, 1976.– Т. 3.– 288 с.
3. Растрингин Л.А. Адаптация сложных систем / Л.А. Растрингин.–Рига: Зинатне, 1981.– 375 с.
4. Репин В.Г. Статистический синтез при априорной неопределённости и адаптация информационных систем / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский.– М.: Сов. радио, 1977.– 404 с.
5. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / Я.Д. Ширман, Ю.И. Лосев, Д.И. Леховицкий [и др.]; под ред. Я.Д. Ширмана.– М.: ЗАО “МАКВИС”, 1998.– 828 с.
6. Уидроу Б. Адаптивная обработка сигналов: пер. с англ. / Б. Уидроу, С. Стирнз.–М.: Радио и связь, 1989.– 440 с.
7. Деммель Дж. Вычислительная линейная алгебра. Теория и приложения: пер. с англ. / Дж. Деммель.– М.: Мир, 2001.– 430 с.
8. Кошевой В.М. Оценивание корреляционных матриц / В.М. Кошевой // Радиотехника и электроника.– 1986.– №10.– С. 1964–1974.
9. Химич А.Н. Оценки возмущений для решения задачи наименьших квадратов / А.Н. Химич // Кибернетика и системный анализ.– 1996.– №3.– С. 142–145.
10. Скачков В.В. Исследование устойчивости адаптивной информационной системы с прямым формированием регуляризованного вектора управления / В.В. Скачков // Радиотехника.– 2003.– № 9.– С. 11–17.

REFERENCES

1. Van Tris G. *Teorija Obnaruzhenija, Ocenok I Moduljicii: V 4 T.* N.p.: Sov. Radio, 1972. Print.
2. Levin B.R. *Teoreticheskie Osnovy Statisticheskoy Radiotehniki: V 3 T.* Moskov: Sovetskoe Radio, 1976. Print.
3. Rastrigin L.A. *Adaptacija Slozhnyh Sistem.* Riga: Zinatne, 1981. Print.
4. Repin V.G. *Statisticheskij Sintez pri Apriornoj Neopredeljonnosti i Adaptacija Informacionnyh Sistem.* Moskov: Sov. Radio, 1977. Print.
5. Ja.D. Shirman, Ju.I. Losev, and D.I. Lehovickij. *Radiojelektronnye Sistemy: Osnovy Postroenija i Teorija. Spravochnik.* Moskov: ZAO “MAKVIS”, 1998. Print.
6. Uidrou B., and S. Stirnz. *Adaptivnaja Obrabotka Signalov: Per. s Angl.* Moskov: Radio i Svjaz', 1989. Print.
7. Demmel' Dzh. *Vychislitel'naja Linejnaja Algebra. Teorija i Prilozhenija: Per. s Angl.* Moskov: Mir, 2001. Print.
8. Koshevoj V.M. “Ocenivanie Korreljacionnyh Matric.” *Radiotehnika I Jelektronika* 10 (1986): 1964-974. Print.
9. Himich A.N. “Ocenki Vozmushhenij dlja Reshenija Zadachi Naimen'shih Kvadratov.” *Kibernetika i Sistemnyj Analiz* 3 (1996): 145. Print.
10. Skachkov V.V. “Issledovanie Ustojchivosti Adaptivnoj Informacionnoj Sistemy S Prjamym Formirovaniem Reguljarizovannogo Vektora Upravlenija.” *Radiotehnika* 9 (2003): 11-17. Print.