

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ. КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОФІЗИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНО - ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Зорі А.А., Коренєв В.Д., Кузнєцов Д.М.

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк  
кафедра електронної техніки  
E-mail: kaf-et@kita.dgtu.donetsk.ua

### *Abstract*

*Zory A.A., Korenev V.D., Kuznetsov D.N. Determination of efficiency of the difficult systems. Criterials of estimation of efficiency of hydrophysical informatively-measuring systems. Considered the questions of determination of efficiency of informatively-measuring systems. The criterials of estimation of efficiency of hydrophysical informatively-measuring systems are developed in accordance with developed indexes.*

### **Постановка проблеми**

При розробці різних типів електронних систем (управління, контролю, інформаційно-вимірювальних, гідрофізичних і т.п.) часто виникає необхідність визначити найбільш ефективний варіант і структуру системи з ряду можливих. У загальному випадку під ефективністю системи розуміють пристосованість її для вирішення поставленої задачі [1]. При оцінці ефективності системи необхідно правильно сформулювати задачу, яку система повинна вирішувати, а потім - виконати вибір показника ефективності системи з одночасною розробкою критерію (методу) оцінки ефективності по даному показнику [1...3]. Дана робота присвячена розробці критеріїв оцінювання ефективності гідрофізичних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), що є об'єктом наукових досліджень авторів.

### **Аналіз відомих рішень**

Для оцінки ефективності використання каналу зв'язку у теорії інформації застосовують такі характеристики, як швидкість передачі інформації по каналу і пропускна спроможність каналу [1]. Швидкість передачі інформації відповідає кількості інформації, що передається по каналу в одиницю часу при заданих статистичних властивостях джерела інформації. Пропускна спроможність визначає максимально можливе значення швидкості передачі інформації по каналу; в цьому випадку параметри каналу залишаються незмінними, а максимум швидкості передачі досягається за рахунок вибору джерела інформації з необхідними статистичними властивостями. Таким чином, швидкість передачі інформації визначає реальні можливості каналу зв'язку, а пропускна спроможність-потенційні можливості. Різниця значень цих двох характеристик визначає ефективність використання каналу зв'язку і можливості, що залишилися невикористаними.

Для порівняння кількох засобів вимірювань (ЗВ) щодо динамічних властивостей у теорії інформації пропонується використовувати продуктивність  $R$ , як показник інформаційної ефективності засобу вимірювань. Продуктивність  $R$  визначає максимально можливу швидкість утворення інформації у вимірювальному колі ЗВ:

$$R = \frac{\max[I(t, \tau)]}{\Delta t}.$$

Тут  $\max[I(t, \tau)]$  - максимально можлива кількість інформації, що утворюється засобом вимірювань за час  $\Delta t$ .

Якщо функції інформаційно-вимірювальної системи обмежити тільки первинним вимірювальним перетворенням і обробкою вимірювального сигналу, то згідно [1, 2] для оцінки її інформацій-

ної ефективності раціонально використовувати пропускну спроможність  $\Pi$ , яка визначається так само, як і продуктивність  $R$ . Вказані функції більш властиві вимірювальному каналу ІВС, тому продуктивність (або пропускну спроможність) вимірювального каналу системи можна використовувати як показник його інформаційної ефективності.

Якщо вимірювана величина  $X$  розподілена рівномірно в інтервалі від 0 до  $X_{max}$ , а похибка каналу теж розподілена рівномірно від мінус  $\Delta$  до  $+\Delta$ , то пропускну спроможність каналу може бути визначена

$$\Pi = 2F_{max} \cdot \log_2 \frac{X_{max}}{2\Delta},$$

де  $F_{max}$  - найбільша частота флуктуацій величини  $X$ , вимірювана каналом.

Приведений вираз дозволяє зробити висновок про те, що підвищення точності вимірювального каналу, тобто зменшення похибки  $\Delta$ , сприяє, перш за все, підвищенню його інформаційної ефективності.

Пропускну спроможність  $\Pi$  не може інтегрально характеризувати ефективність гідрофізичної ІВС, оскільки система може містити декілька (чотири і більше) вимірювальних каналів різної точності і різної швидкодії; різні системи можуть різнитися між собою номенклатурою технічних характеристик і можливостей, рівнем автоматизації, надійністю, економічними показниками і т.д. Тому для порівняння систем між собою або для вибору найбільш оптимального варіанту системи необхідно розробити узагальнений показник, який би інтегрально характеризував ефективність системи на деякій сукупності її параметрів.

Проте виявилось, що розробка узагальненого показника ефективності системи є справою надзвичайно складною. Це визначається, перш за все, вимогами, що пред'являються до нього: а) він повинен бути функцією всіх найважливіших характеристик (показників) системи, б) характеризувати систему з погляду виконання поставлених функцій і задач, в) мати простий фізичний сенс. Ці вимоги суперечливі. Тому, ніж повніше узагальнений показник повинен відображати властивості системи, тим складніше його сформулювати.

Шляхом аналізу літературних джерел встановлено, що результати досліджень з проблеми оцінки узагальненої ефективності ІВС практично відсутні. У той же час відомий ряд фундаментальних досліджень, присвячених оцінці якості систем контролю і управління\*. Оскільки процедури вимірювання і контролю за інформаційною сутністю схожі [1], авторами прийнято рішення про використання методології оцінки якості систем контролю при розробці показників ефективності ІВС і критеріїв їх оцінки. Концепція, що прийнята авторами при розробці узагальнених показників ефективності ІВС і критеріїв оцінки ефективності по цих показниках, відповідно до [1, 2] встановлює необхідність дотримання наступних положень:

1) ефективність системи визначається шляхом порівняння її з деякою іншою системою аналогом;

2) узагальнений показник представляється у вигляді об'єднання приватних показників з деякими ваговими коефіцієнтами; у простому випадку узагальнений показник записується у вигляді лінійної суми

$$W = \sum p_i \times W_i,$$

де  $W_i$  - частний показник, що характеризує  $i$ -й варіант системи або її властивість,  $p_i$  - коефіцієнт, що визначає важливість даного частного показника (його «вагу») у складі узагальненого (найчастіше вагові коефіцієнти визначаються на основі методу експертних оцінок);

3) встановлюється взаємозв'язок між сукупністю технічних характеристик системи (точністю, швидкістю і ін.) і її вартістю, надійністю, витратами на експлуатацію, енергоспоживанням і т.д.

---

\* Роботи І.В. Кузьміна, М.І. Цапенко та ін.

**Зміст досліджень**

При виборі показника ефективності ІВС і розробці критерію оцінки ефективності за цим показником передбачено, що будь-який критерій, що розробляється, повинен бути конструктивним, тобто повинен дозволяти визначити чисельне значення показника ефективності, яке давало б можливість оцінити ефективність системи самій по собі і щодо однієї з однотипних систем.

**Інформаційний критерій.** Кількість інформації, що одержує інформаційно-вимірювальна система від об'єкту вимірювання за інтервал часу  $(\tau-t)$ , дорівнює

$$I_p(t, \tau) = H_0(t, \tau) - H(t, \tau), \quad (1)$$

де  $H_0(t, \tau)$ -початкова ентропія, що характеризує невизначеність об'єкту вимірювання і ІВС до вимірювання;  $H(t, \tau)$ -залишкова ентропія, що характеризує залишкову невизначеність після виконання вимірювання [1].

Рівняння (1) характеризує реальну інформаційну систему; потенційні можливості системи визначаються таким чином:

$$I_n(t, \tau) = H_0(t, \tau).$$

Ефективність ІВС з інформаційної точки зору можна оцінити критерієм

$$W_1(t, \tau) = \frac{I_p(t, \tau)}{I_n(t, \tau)} = \frac{H_0(t, \tau) - H(t, \tau)}{H_0(t, \tau)}. \quad (2)$$

Цей критерій має наступні гідності:

- має конкретний фізичний сенс;
- дійсно характеризує ефективність системи однозначним числом, що змінюється від 0 до 1;
- враховує точність роботи системи і якість алгоритму її роботи.

При цьому ідеальна система, що виконує вимірювання без похибки (без втрат інформації), має ефективність, що дорівнює 1. Для будь-якої реальної ІВС показник  $W_1(t, \tau) < 1$ ; при  $W_1(t, \tau) \leq 0$  застосовувати ІВС не має сенсу, оскільки вона не дає інформації.

Разом з тим інформаційний критерій (2) має наступні істотні недоліки:

- не враховує складності і вартості не тільки процедури вимірювання, але і самої ІВС, а також деяких інших показників (вага, енергоспоживання, надійність...), які залежно від умов застосування системи можуть виявитися важливими;

- є статистичною оцінкою ефективності системи, що не враховує динаміки досліджуваного процесу і динаміки самої системи.

**Узагальнений статистичний критерій.** Критерієм, що не має недоліків інформаційного, можна вважати узагальнений статистичний критерій:

$$W(t, \tau) = \frac{K_1(t, \tau)}{K_{10}(t, \tau)}. \quad (3)$$

Тут:

$K_1(t, \tau) = [I_{\max}(t, \tau)/C(t, \tau)]$  - узагальнена статистична характеристика реальної системи;

$I_{\max}(t, \tau) = \sum_{i=1}^m I_{i\max}(t, \tau)$  - максимальне значення середньої кількості інформації, що одержується за "m" дослідів (зондувань), виконуваних якнайкращою ІВС;

$C(t, \tau) = W_{\Sigma}(t, \tau)$  - математичне очікування вартості реальної ІВС;

$K_{10}(t, \tau) = [I_{\max}(t, \tau) / C_{\min}(t, \tau)]$  - узагальнена «потенційна» статистична характеристика ідеальної системи;

$I_{\max}(t, \tau)$  - максимальне значення середньої кількості інформації, що одержується за “m” дослідів (зондувань), виконуваних якнайкращою ІВС при максимальній невизначеності об'єкту вимірювання (наприклад, водного середовища – при виконанні гідрофізичних досліджень);

$C_{\min}(t, \tau) = W_w(t, \tau)$  - вартість ідеальної системи.

Гідністю узагальненого статистичного критерію оцінки ефективності ІВС є повнота, наглядність, порівняльна простота і спільність, що дозволяє одним числом характеризувати не тільки всю систему, але і її складові частини. Узагальнений статистичний критерій для систем, що дають інформацію, може змінюватися в діапазоні  $0 < W(t, \tau) \leq 1$ ; недосконалі системи мають  $W(t, \tau) \leq 0$ .

Таким чином, для оцінки ефективності ІВС за інформаційним критерієм необхідно визначити відповідні ентропії і використовуючи формулу (2) підрахувати ефективність системи. З урахуванням вартості інформаційну оцінку ефективності системи можна визначити за формулою (3) з урахуванням її первинної і реальної вартості.

**Критерій ефективності функціонування складної системи.** Автоматичні і автоматизовані ІВС (у тому разі і гідрофізичні, що є об'єктом наукової зацікавленості авторів) відносяться до складних систем, які характеризуються не тільки великою кількістю структурних елементів, але і складністю внутрішньої структури (зворотними зв'язками, різного роду надлишковостями і т.п.). Для узагальненої кількісної оцінки ефективності складної системи можна використовувати критерій ефективності функціонування [2].

Складною системою називають безпосередньо досліджувану систему в цілому, а елементом складної системи – деяку частину системи, здатну виконувати певну операцію в загальному процесі функціонування системи. Розподіл складної системи на елементи достатньо умовний і залежить не тільки від структури системи, але й від виду задач, що виконуються, тривалості періодів функціонування, необхідної точності оцінки показників ефективності та інш. Складна система в процесі функціонування переходить з одного стану в інший через зміну стану елементів, що входять до її складу. Процес зміни станів складної системи в часі називають еволюцією, а послідовність таких станів в часі – траєкторією еволюції. Ефективність складної системи залежить від конкретної траєкторії еволюції її станів в процесі функціонування.

Нехай в процесі еволюції система приймає ряд можливих станів  $S_0, S_1, S_2 \dots S_n$  з вірогідностями  $P_0, P_1, P_2 \dots P_n$ , відповідно. Оскільки всі можливі стани складної системи утворюють повну групу подій, то

$$\sum_{i=0}^n P_i = 1.$$

Нехай показники технічної ефективності станів  $S_0, S_1, S_2 \dots S_n$  складної системи відповідно дорівнюють  $W_0, W_1, W_2 \dots W_n$ . Тоді ефективність функціонування складної системи можна визначити як математичне очікування показників технічної ефективності за формулою

$$W = W_0 \cdot P_0 + W_1 \cdot P_1 + W_2 \cdot P_2 + \dots + W_n \cdot P_n. \quad (4)$$

На основі показника ефективності функціонування складної системи (4) можна сформувати узагальнені показники ефективності ІВС з урахуванням різних критеріїв: інформаційного, технічного, вартісного, експлуатаційного та інш. Так, в роботі [2] і інших роботах І.В. Кузьміна, застосовується критерій оцінки експлуатаційної ефективності системи, що враховує і динаміку підготовки системи, і динаміку її застосування; для обліку ступеня впли-

ву надійності і технічної готовності на загальну ефективність системи використовується поняття показника експлуатаційної придатності системи, який визначається за формулою

$$P_{\text{exp}}(t) = \frac{W(t)}{W_0(t)},$$

де  $W(t)$  - ефективність використання реальної системи з урахуванням її підготовки до застосування;  $W_0(t)$  - ефективність ідеальної (з погляду надійності і технічної готовності) системи, тобто такої, яка не має відмов і не потребує операцій на підготовку.

**Критерії оцінювання ефективності гідрофізичної ІВС.** Для оцінки ефективності ІВС можна синтезувати ряд простих критеріїв, які характеризували б ефективність системи з різних точок зору. Як узагальнений показник ефективності, який би інтегрально характеризував систему на деякій сукупності її технічних, економічних, інформаційних та інш. параметрів, раціонально використати комплексний показник, який можна сформулювати на основі критерію ефективності функціонування складної системи.

Відомо, що первинними вимірюваними параметрами морського середовища при гідрофізичних дослідженнях є температура « $T$ », питома електрична провідність « $\chi$ », гідростатичний тиск « $P$ » і швидкість « $V$ ». Для вимірювання цих параметрів у складі гідрофізичної ІВС передбачені відповідні вимірювальні канали. Інструментальні похибки каналів обумовлюють апостеріорну ентропію, яка характеризує залишкову невизначеність про значення параметрів середовища після виконання вимірювань, і, відповідно, кількість інформації про стан досліджуваного середовища, що одержує система під час зондування. Враховуючи витрати на виготовлення і експлуатацію гідрофізичних ІВС, що є значні, вважаємо за доцільне застосувати для оцінки ефективності досліджуваної системи у порівнянні із вибраною у якості зразкової (базової) комплексний критерій:

$$W = \frac{\sum a_i \cdot W_{0i}}{K_0 + C_0}, \quad (5)$$

де  $W_{0i}$  - часний  $i$ -й безрозмірний показник технічної ефективності ІВС;  $a_i$  - ваговий коефіцієнт  $i$ -го безрозмірного показника.

У першому наближенні можна прийняти все  $a_i = 1$  і використати наступні безрозмірні показники:

$$\text{а) } W_{01} = \Delta_{1T} / \Delta_{2T},$$

де  $\Delta_{1T}$ ,  $\Delta_{2T}$  - похибки вимірювання температури середовища у зразковій і досліджуваній системах, відповідно;

$$\text{б) } W_{02} = \Delta_{1\chi} / \Delta_{2\chi},$$

де  $\Delta_{1\chi}$ ,  $\Delta_{2\chi}$  - похибки вимірювання питомої електричної провідності середовища у зразковій і досліджуваній системах, відповідно;

$$\text{в) } W_{03} = \Delta_{1P} / \Delta_{2P},$$

де  $\Delta_{1P}$ ,  $\Delta_{2P}$  - похибки вимірювання гідростатичного тиску у зразковій і досліджуваній системах, відповідно;

$$\text{г) } W_{04} = \Delta_{1V} / \Delta_{2V},$$

де  $\Delta_{1V}$ ,  $\Delta_{2V}$  - похибки вимірювання швидкості у зразковій і досліджуваній системах, відповідно;

$$\text{д) } K_0 = K_2 / K_1,$$

де  $K_1$ ,  $K_2$  - капітальні витрати на виготовлення зразкової і досліджуваної систем, відповідно;

$$e) C_0 = C_1/C_2,$$

де  $C_1$ ,  $C_2$  - поточні витрати на експлуатацію зразкової і досліджуваної систем, відповідно.

Комплексний критерій, що подібний критерію (5), використаний в [3] при визначенні показника ефективності вдосконаленої ІВС градування перетворювачів швидкості. На основі розробленого критерію встановлено, що вдосконалена ІВС градування приблизно в 5,9 рази ефективніша за «базову», не дивлячись на те, що капітальні витрати на її виготовлення в 1,6 рази перевищують витрати на виготовлення «базової» (прийнято однакові поточні витрат на експлуатацію). Такий ефект досягається за рахунок підвищення точності градування в 3,5 рази, збільшення швидкодії і зниження тривалості градування в 2,2 рази, збільшення кількості одночасно градуйованих перетворювачів в 4 рази.

Якщо ж в комплексному критерії (5) при визначенні показників  $W_{0i}$  у якості похибок вимірювань «зразкової» системи вибрати відповідні «теоретичні» похибки вимірювання первинних гідрофізичних параметрів середовища ( $\pm 0,005^\circ \text{C}$  з температури,  $\pm 0,01 \text{См/м}$  з ПЕП,  $\pm 0,1\%$  з тиску,  $\pm 0,005 \text{м/с}$  з швидкості), які забезпечують потрібну для океанологів точність розрахунків вторинних параметрів середовища (щільності, солоності, глибини, швидкості розповсюдження звуку, ...), то критерій визначатиме «потенційну» ефективність системи, тобто ефективність щодо деякої «ідеальної системи», яка має такі ж витрати на виготовлення і експлуатацію.

#### **Висновки.**

1 Об'єктивним критерієм доцільності використання того або іншого варіанту системи при її оптимізації може бути показник ефективності системи.

2 Розробку показника ефективності системи і оцінку її ефективності відповідно до цього показника слід починати з вибору і обґрунтування критерію оцінки ефективності системи. Критерій повинен бути конструктивним, тобто мати чисельне значення, що давало б можливість оцінити ефективність системи самій по собі і щодо однотипних систем.

3 Гідрофізичну ІВС при аналізі її ефективності є сенс розглядати як складну систему. Для узагальненої оцінки її ефективності доцільно застосовувати відповідний комплексний показник, що може бути сформований на основі критерію ефективності функціонування складної системи і узагальненого статистичного (інформаційного) критерію.

4 Для підвищення ефективності гідрофізичних ІВС слід підвищувати точність вимірювань первинних параметрів водного середовища, скорочувати час зондування, підвищувати швидкодню, знижувати витрати на виробництво і експлуатацію, підвищувати надійність, рівень автоматизації вимірювань і обробки інформації, знижувати енергоспоживання і т.п. Домінуючими чинниками при цьому будуть точність, швидкодія і вартість ІВС.

#### **Література**

1. Кузьмин И.В., Кедрус В.А. Основы теории информации и кодирования. – К.: Вища шк., 1997.
2. Кузьмин И.В. Оценка эффективности и оптимизация автоматических систем контроля и управления. М.: Советское радио, 1971. – 296 с.
3. Кузнецов Д.М. Інформаційно-вимірювальна система градування термоанемометричних вимірювальних перетворювачів швидкості газу. Автореф. дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Донецький національний технічний університет. Донецьк, 2005 р.