

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до дисципліни
**МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ
І СИСТЕМ**

студентів спеціальностей: **8.05100304 «Наукові, аналітичні та екологічні
прилади та системи»**
8.05080202 «Електронні системи»

РОЗГЛЯНУТО
на засіданні кафедри
електронної техніки
протокол № 6 від 26.01.2011 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні методичних комісій
спеціальностей:
8.05080202 і 8.05100304
Голова методичних комісій
_____ А.А. Зорі

УДК 621.377 : 621.391 : 62.52

Методичні вказівки по курсу «Методи оцінки ефективності приладів і систем» для студентів спеціальностей 8.090902 «Наукові, аналітичні і екологічні прилади і системи», 8.05080202 «Електронні системи» / Хламов М.Г.-Донець: ДонНТУ 2011 – 11с.

У методичних вказівках приведені рекомендації до укладання реферату на тему «Оцінка ефективності пристрою (системи), що розробляється в магістерській роботі».

Укладач:

к.т.н., доц. Хламов М.Г.

Оцінка ефективності пристрою (системи), що розробляється в магістерській роботі

Справжні методичні вказівки предназначені для надання допомозі студентам що вивчають дисципліну «Методи оцінки ефективності вимірjuвальних пристроїв і систем» в складанні реферату на тему «Оцінка ефективності пристрою (системи), що розробляється в магістерській роботі».

Метою реферату є обґрунтування нового проектного рішення в магістерській роботі. Ефективність нової розробки доводиться на основі вибраного критерію і показників ефективності порівняно з найбільш близьким по функціональному призначенню і технічній досконалості пристроєм (системою) – прототипом. Останнє присутнє в магістерській роботі як результат літературного огляду і пошуку.

Значне місце в проектуванні електронних систем займає ухвалення рішень. Процес підготовки рішення полягає в зіставленні декількох альтернатив і виборі найкращою з них. Так, перед початком проектування необхідно обґрунтувати доцільність створення системи, тобто порівняти існуючий варіант управління з передбачуваним; в ході проектування доводиться порівнювати різні варіанти побудови системи для того, щоб вибрати і реалізувати кращий; то ж можна сказати і про окремі підсистеми і елементи системи.

Аби проводити таке порівняння, необхідно домовитися про те, який сенс вкладається в поняття "кращий" варіант і як кількісно оцінити якість кожного варіанту. Іншими словами, необхідно вибрати показник ефективності систем. Показник ефективності повинен характеризувати якість виконання всіх функціональних завдань; враховувати витрати ресурсів, необхідних для виконання функціонального призначення системи; мати ясний і однозначний фізичний сенс і носити кількісний характер; бути зв'язаним осяжними залежностями, бажано функціональними, з технічними параметрами елементів системи і її структурою; допускати наближену оцінку за експериментальними даними і володіти малою дисперсією.

При виборі показника ефективності системи необхідно брати до уваги вимоги, що пред'являються до системи технічним завданням. Ефективність варіантів, що не задовольняють цим вимогам, оцінці не підлягає, і вони не можуть розглядатися як альтернативні.

Порівняння варіантів може бути виконане на підставі приватних показників ефективності: технічних і економічних. Як економічні показники використовуються приведені, поточні і капітальні витрати.

Економічні показники дозволяють порівнювати між собою приблизно рівні по технічних характеристиках варіанти; різні варіанти, враховуючи економічний показник в загальному показнику ефективності, планувати процес створення системи, добиваючись мінімізації витрат на проектування і на експлуатацію. У розрахунках порівняльної економічної ефективності проектів, що вимагають тривалого в декілька років пректирования, має бути врахований вплив чинника часу. Методика і приклади порівняння різних варіантів проектів технічних рішень наводяться в роботі [1]. Тут же наводиться методика обліку приватних загальносистемних показників ефективності і узагальненого показника ефективності.

Міру технічної досконалості проектів складних електронних систем різного призначення і інформаційно-вимірвальних систем недостатньо характеризувати приватними технічними показниками ефективності.

У зв'язку із зростаючою складністю систем інформаційні оцінки набувають всього більшого значення, оскільки вони дозволяють описати весь тракт здобуття, передачі і переробки інформації єдиним математичним апаратом. Як інформаційні критерії застосовуються кількість інформації на один вимір і швидкість передачі інформації або їй еквівалентна – пропускна здатність пристрою (системи) [2]. Перший з цих критеріїв при незалежності наступних один за одним вимірів дає статичну оцінку, другий – природну оцінку динамічних характеристик приладу (системи), за наявності якої, втрачають актуальність штучні побудови залежностей швидкодії від точності. Вони дозволяють оцінити у багатьох випадках граничні, тобто потенційні можливості досліджуваних засобів виміру. Далі наводяться приклади визначення інформаційних показників ефективності засобів виміру [6].

Інформаційна пропускна спроможність газоаналізатора

У оптичному аналізі абсорбції безпосередньо вимірюється кількість молекул визначуваного компонента в робочій камері. Позначимо цю кількість через i і допустимо, що воно може набувати будь-яких значень від 0 до n ($0 \leq i \leq n$). Вірогідність того, що в камері знаходиться i молекул, позначимо через $p(i)$. При цьому виконується умова

$$\sum_{i=0}^n p(i) = 1,$$

тобто сума вірогідності дорівнює одиниці.

Інформаційною ентропією аналізованої суміші, що знаходиться в робочій камері, відповідає вираження

$$H = -\sum_{i=0}^n p(i) \log_2 p(i).$$

Ця сума є кількісна міра міри невизначеності знання про кількість молекул визначуваного компонента в робочій камері. Ентропія дорівнює такому середньому числу абсолютно точних вимірів, які необхідно виконати, аби точно знати кількість молекул визначуваного компонента в камері.

Ентропія максимальна при рівності вірогідності:

$$p(0) = p(1) = \dots = p(n) = \frac{1}{n+1}$$

і рівна

$$H_{max} = -(n+1) \frac{1}{(n+1)} \log_2 \frac{1}{(n+1)} = \log_2 (n+1).$$

Кількість отриманої інформації дорівнює ентропії, усуненій в процесі проведення аналізу. У ідеальному випадку, коли в результаті аналізу повністю знімається невизначеність в знанні кількості молекул визначуваного компонента, максимальна кількість отриманої інформації чисельна рівно початковій ентропії суміші. Як кількісна міра для порівняння здатності різних аналізаторів абсорбції отримувати інформацію про вміст визначуваного компонента в аналізованій суміші можна використовувати двійковий логарифм числа помітних концентрацій. У загальному випадку, згідно Найквісту і Хартлі [3–5], це число помітних рівнів сигналів не може збільшуватися безмежно. Воно обмежується відносною погрішністю газоаналізатора, приведеною до верхньої межі виміру, що пояснюється

неможливістю упевнено зареєструвати зміну концентрації менше, ніж подвоєна погрішність $2\Delta c$ абсорбціометра. Весь діапазон виміру приблизно можна замінити послідовністю різних значень. При цьому сусідні значення розрізняються між собою на подвоєну погрішність. Якщо концентрація визначуваного компонента змінюється в межах від 0 до c_{max} , то можна отримати $c_{max}(2\Delta c)^{-1}$ дискретних рівнів концентрації. Хай всі значення концентрації в межах діапазону виміру рівноімовірні. Тоді для кількості інформації, що отримується при одному вимірі з погрішністю $\pm\Delta c$, маємо

$$J = \log_2 \left(\frac{c_{max}}{2 \cdot \Delta c} \right). \quad (1)$$

Отримана формула втрачає сенс при $c_{max} < 2\Delta c$, оскільки кількість інформації не може бути негативною. Для усунення цього можна приблизно покласти

$$J = \log_2 \left(1 + \left(\frac{c_{max}}{2 \cdot \Delta c} \right)^j \right)^{1/j}, \quad (2)$$

де $j \geq 1$.

Цей показник дорівнює 2 при нормальному законі розподілу погрішності. Збільшимо тепер безмежно погрішність Δc . Кількість інформації при цьому прагне до нуля, залишаючись позитивним.

Визначимо інформаційну пропускну спроможність газоаналізатора, як максимально можливу кількість інформації, яку можна отримати в одиницю часу за допомогою газоаналізатора. Якщо витрачений на проведення одного аналізу проміжок часу позначити через Δt , то при $c_{max} \gg \Delta c$ для пропускну спроможності, використовуючи вираження (1), отримаємо

$$\Pi = \frac{J}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t} \log_2 \left(\frac{c_{max}}{2 \cdot \Delta c} \right). \quad (3)$$

Якщо, наприклад, погрішність виміру складає $\pm 5\%$ від верхньої межі виміру (найбільш поширене значення для промислових приладів), а тривалість аналізу складає 30 сек , то для інформаційної пропускну спроможності набудемо значення, близького до однієї десятої двійкової одиниці. Для промислових приладів з селективною газовою компенсацією при такій же тривалості виміру основна погрішність значно менше приведеною вище. Вона така, що число помітних градацій близьке до 32 . Пропускна спроможність для таких приладів рівна

$$\Pi = \frac{1}{30} \log_2 32 = \frac{1}{6} \text{ двоичних одиниць/сек.}$$

Покажемо тепер, що пропускна спроможність пропорційна смузі (Δf) частот, що сприймаються реєструючим пристроєм. З теореми Котельникова виходить, що проміжок часу Δt , що доводиться на один вимір, знаходиться з умови

$$2(\Delta f)\Delta t = 1. \quad (4)$$

Враховуючи це, для пропускну спроможності знайдемо

$$\Pi = (\Delta t)^{-1} J = 2(\Delta f)J. \quad (5)$$

що в припущенні справедливості вираження (2) дає

$$\Pi = \frac{2(\Delta f)}{j} \log_2 \left[1 + \left(\frac{c_{max}}{2 \cdot \Delta c} \right)^j \right]. \quad (6)$$

Отримане вираження дозволяє знайти інформаційну пропускну спроможність абсорбціометра при кінцевій вірогідності помилки, яка залежить від міри перевищення максимально допустимої погрішності Δc абсорбціометра над середнькватратическим значенням σ_n погрішності. З

формули (6) виходить, що при заданому значенні C_{max} пропускна спроможність аналізатора буде тим більше, чим менше максимально допустиме значення Δc погрішності, тобто ніж більша вірогідність помилки допускається при вимірах.

Дуже важливою характеристикою абсорбціометра є така гранична пропускна спроможність, визначувана як кількість інформації, яка може бути отримане з нескінченно малою вірогідністю помилки при використанні досить складної системи кодування. Для оцінки такої здатності можна скористатися формулою Шеннона

$$P = (\Delta f) \log_2 \left[1 + \left(\frac{N_c}{N_i} \right)^j \right], \quad (7)$$

якщо відповідним чином визначити середні потужності сигналу і перешкод N_c і N_n .

Формули (6) і (7) схожі по структурі.

З формули (7) виходить, що пропускна спроможність залежить від співвідношення між потужністю сигналу і потужністю перешкод. Чим потужність сигналу більше потужності перешкод, тим більше і пропускна спроможність. Остання збільшується також при розширенні смуги реєструючого пристрою.

Перешкоди у формулі (7) передбачаються лише флуктуаційними.

У газоаналізаторах часто допустима значно велика вірогідність помилки, чим в системах зв'язку. Тому при аналізі і дослідженні сумішей речовин може бути досягнута пропускна спроможність більша, ніж це витікає з вираження (7). Можна, наприклад, показати, що для методів інфрачервоного аналізу і вживаних методів виміру, що існують в даний час, максимально досяжна пропускна спроможність обмежується нерівністю

$$P < (\Delta f) \log_2 \left[1 + \sqrt{\frac{N_c}{N_i}} + \frac{N_c}{N_i} \right], \quad (8)$$

де

$$\frac{N_c}{N_i} = \frac{\overline{(\tilde{n} - \bar{n})^2}}{\sigma_i^2}; \quad (9)$$

\bar{n} — середнє значення концентрації визначуваного компонента в суміші;
 $\sigma_i^2 = \overline{(\tilde{n}_{\text{вiдс}} - \bar{n})^2}$ — дисперсія погрiшностi $c_{\text{показ}}$ — показання реєструючого приладу в значеннях концентрації або результат аналізу за умови, що дійсна концентрація визначуваного компонента в суміші рiвна c . При оптимально вибраних параметрах iнфрачервоних газоаналiзаторiв зазвичай $N_c > N_n$ при цьому вiдмiнностi мiж виразами (8) i (7) невелика. Тому в подальшому у всiх випадках слiд користуватися вираженням (7).

Залежність пропускної спроможності газоаналiзатор вiд витрати аналізованої суміші.

При аналізі атмосферного повітря на вміст домішок iнколи пропускають потiк випромiнювання безпосередньо через нього, а не застосовують робочу камеру i пристрiй для забору газу. В цьому випадку (Δf) дорiвнює смузі пропускання $(\Delta f)_{\text{py}}$ реєструючого пристрою, в який входять приймач излучення, пiдсилювач i реєструючий прилад. Пiдставляючи, на приклад, у формулу (5) значення $J = 5 \text{ дв. ед.}$ i $(\Delta f) = (\Delta f)_{\text{py}} = l \Gamma_{\text{ц}}$, отримаємо $\Pi \approx 10 \text{ дв. ед./сес.}$

Для аналізаторiв абсорбції з примусовим безперервним просочуванням аналізованої суміші через робочу камеру [7, 8] маємо

$$(\Delta f) \approx \frac{W(\Delta f)}{W + k_{\text{обм}} V(\Delta f)_{\text{py}}}, \quad (10)$$

де V — повний внутрiшній об'єм системи (робоча камера плюс система для забору i очищення аналізованої суміші); W — середня об'ємна витрата аналізованої суміші; $k_{\text{обм}}$ — чисельний множник, залежний вiд того, яким чином здiйснюється змiна аналізованої суміші в робочій камері.

Якби кожна подальша порція аналізованої суміші виштовхувала попередню, абсолютно з нею не перемiшуючись, i величина сигналу визначалася середньою об'ємною концентрацією визначуваного компонента

в камері, то ми мали б нерівність $1 < k_{обм} < 2$. Насправді заміна аналізованої суміші в робочій камері завжди супроводиться перемішуванням (хоч би частковим). Тому $k_{обм}$ збільшується. Якби кожна нова порція газу, що поступає в камеру, практично миттєво перемішувалася з вже наявним в ній газом, а одночасно з цим з робочої камери виштовхувалася така ж кількість суміші з середнім вмістом визначуваного компонента, що вийшов в результаті перемішування, то ми мали б $k_{обм} \leq 8$. Такі значення $k_{обм}$ мають місце в разі невеликих об'ємів V , коли концентрація за об'ємом камери шляхом дифузії вирівнюється порівняно швидко. При збільшенні об'єму $V - k_{обм}$ збільшуються. Для промислових оптико-акустичних газоаналізаторів з верхньою межею виміру від $1 \text{ об.}\%$ (CO , CO_2 або CH_4) і вище за значення $k_{обм}$, проте, не перевищують одного-двох десятків.

Вважаючи, наприклад $(\Delta f)_{py} = 1 \text{ Гц}$; $V = 0,1 \text{ л}$; $W = 0,02 \text{ л/сек}$ і $k_{обм} = 10$, знайдемо $(\Delta f) \approx 0,02 \text{ Гц}$. Таким чином, ефективна смуга пропускання, а отже, і інформаційна пропускна спроможність газоаналізатора різко зменшуються при зниженні витрати аналізованої суміші.

При досить широкій смузі $(\Delta f)_{py}$ реєструючого пристрою з вираження (10) отримаємо

$$(\Delta f) \approx \frac{W}{k_{обм} V}. \quad (11)$$

Фізичний сенс цієї залежності полягає в наступному. Проміжок часу, необхідний для зміни аналізованої суміші в робочій камері, пропорційний отиоше нию $V k_{обм}^{-1}$. Гранична частота, з якою ще можна замінювати аналізовану суміш, назад пропорційна цьому проміжку часу. Тому смуга пропускання пропорційна відношенню $V k_{обм}^{-1}$.

Пропускна спроможність абсорбціометра з примусовим безперервним протіканням аналізованої суміші через робочу камеру збільшується, якщо, не змінюючи витрати суміші, зменшувати об'єм пристрою, службовця для прокачування її через камеру, до величини значно меншою об'єму V_p робочої камери. В цьому випадку приблизно вважатимемо $V \sim V_p$. Використовуючи залежність (11), можна показати, що для збільшення пропускної спроможності довжину L циліндрової робочої камери необхідно зменшувати

(при незмінній площі вікна), в усякому разі до тих пір, поки поглинання випромінювання стане практично пропорційним твору u . Щоб уникнути зміни F концентрація визначуваного компонента в приймачі випромінювання оптико-акустичного газоаналізатора при цьому також повинна відповідно зменшуватися [9]. У досить широкому діапазоні зміни довжини L J для двохпотоккових інфрачервоних газоаналізаторів зазвичай практично не змінюється (це має місце, наприклад, для порівняно невеликої довжини, тобто для якої виконується нерівність $\gamma < \alpha$).

У роботі [9] були знайдені оптимальні значення L_{opt} і V_{opt} , при яких пропускна спроможність досягає максимуму

$$P_{max} = \frac{W \log_2 5}{k_{обм} V_{opt}} = \frac{2,3 \cdot W}{k_{обм} V_{opt}}. \quad (12)$$

Інші приклади наводяться в літературних джерелах [1, 4-9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Хетагуров Л.А., Древис И.Г. Проектирование информационно-вычислительных комплексов. – М.: Высшая школа, 1987. – 280 с.
2. Ковалеров Г.И., Мандельштам С.М. Введение в информационную теорию измерений. – М.: Энергия, 1974. – 376 с.
3. Nyquist H. Certain Factors Affecting Telegraph Speed, Bell Systems Journal, Vol. 3, April 1924.
4. Хартли Р. Передача информации // Теория информации и ее приложения. – М.: Физматгиз, 1959. – 350 с.
5. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Физматгиз, 1959. – 340 с.
6. Салль А.О. Инфракрасные газоаналитические измерения: Погрешности и информационная способность инфракрасных газоанализаторов. – М., Издательство стандартов, 1971. – 100 с
7. Бриллюэн Л. Наука и теория информации. – М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1960. - 392 с.

8. Новицкий В.П. Основы информационной теории измерительных устройств. – Л. : Энергия, 1968. – 248 с.

9. Новицкий В.П., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.