

тобто лінійної зміни масштабу часу, а для вищого порядку зміни масштабу часу буде обмежуватись дійсною тривалістю широкосмугової або малохвильової обробки.

1. *Наконецний А.Й. Малохвильове перетворення і широкосмугові взаємні двозначні функції // Вісн. ДУ "Львівська політехніка" 1998. № 356.* 2. *Randy K. Young. Wavelet Theory and its Applications // Pennsylvania State University // 1994.* 3. *Champagne, B., Eizenman, M. and Pasupathy, S., Factorization Properties of Optimum Space-Time Processors // IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Proc. Vol. 38. No. 11. Nov. 1990. Pp. 1853-1869.*

УДК 621.317

## МЕТРОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ОБЛІКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ

© Колпак Б.Д., 2000

ДНДІ "Система", Львів

**Описано метод статистичного контролю вимірювальних каналів, який забезпечує єдиний імовірнісний підхід до оцінки якості функціонування систем обліку енергоносіїв.**

**The method of statistical monitoring of measuring channels is circumscribed which ensures the uniform probability approach to an evaluation of quality of operation of systems of the keeping of carriers of energy.**

Роботи з метрологічного забезпечення (МЗ) автоматизованих систем контролю та обліку енергоносіїв (АСКОЕ) виконують у ДНДІ "Система" (м. Львів) Держстандарту України. Розроблено метод статистичного послідовного контролю АСКОЕ, який забезпечує єдиний імовірнісний підхід до оцінки якості функціонування каналів та обчислювальних компонентів АСКОЕ [1-8].

Якість роботи АСКОЕ залежить від метрологічних характеристик (МХ) вимірювальних, обчислювальних та керуючих каналів, причому часом згадані канали не можна чітко відділити один від одного. Як свідчить практика, комплекс цих МХ, що вказується в нормативних документах з МЗ АСКОЕ, недостатній для повної характеристики якості і системи загалом та її компонентів, зокрема програмних. Інтегральна характеристика виконання системних функцій, що об'єднує МХ згаданих каналів і дає змогу оцінити якість обліку енергоносіїв, відсутня. Крім того, для телемеханічних АСКОЕ характерні істотні випадкові і додаткові похибки, тому бажаний імовірнісний підхід до їх МЗ.

В умовах переходу України до ринкових відносин ситуація із забезпеченням багатьох регіонів енергоносіями стала кризовою. Найбільш перспективним є переведення стратегії господарювання на засади збереження ресурсів через масове використання АСКОЕ виробниками і споживачами енергоносіїв. Такі системи широко

відомі у світі. Річна економія на об'єктах, що забезпечені АСКОЕ, становить, за світовими оцінками, не менше ніж 30 % витрат.

В Україні донедавна АСКОЕ майже не використовували, за винятком АСКОЕ електроенергії. Основними причинами були практична відсутність методології МЗ процесів розробки, виробництва та експлуатації АСКОЕ, а також незабезпеченість України первинними засобами обліку витрат таких енергоносіїв, як газ, гаряча вода та нафтопродукти. Необхідність вирішення нових проблем МЗ АСКОЕ зумовлена появою нових видів систем з гнучкою структурою й високим рівнем інтелектуалізації, що пов'язане із зростанням ресурсних обмежень й необхідністю підвищення ефективності системи при обмеженому рівні затрат; підвищенням вимог до точності, швидкодії й розширення діапазонів вимірювань; інтеграцією процесів керування з процесами вимірів.

Функціональними задачами АСКОЕ загалом є вимірювання енергії, що споживається, тарифікація обліку енергії, видавання розрахункових даних, а також (інколи) видавання сигналів, які застосовуються для встановлення раціонального режиму витрати енергії. Система, яка виконує всі ці задачі, – це автоматизована система керування технологічними процесами (АСКТП). Якщо ж система виконує всі ці функції, крім останньої, тобто не видає керуючих сигналів для встановлення раціонального режиму витрати енергії, то це – інформаційно-вимірювальна система (ІВС).

Метрологічне забезпечення ІВС і АСКТП – комплексна проблема, що вимагає розв'язання теоретичних, методологічних, нормативних, правових і організаційних задач як класичних для метрології, так і нетрадиційних. Останні зумовлені наявністю в системах невимірювальних функцій, використанням результатів вимірів для отримання комплексних показників якості об'єкта, ідентифікації, процесу керування.

ІВС і АСКТП, як відомо, становлять єдине ціле з об'єктом експлуатації, який вони обслуговують. Об'єкт обслуговування для АСКОЕ (далі скорочено – об'єкт АСКОЕ) – це розгалужена система розподілення енергії, для якої характерна просторова віддаленість термінальних пристроїв (або інакше – точок споживання й обліку електроенергії) від основної енергетичної магістралі. В об'єкті АСКОЕ (до входу в лічильники енергії включно) енергетичний сигнал водночас є й інформаційним сигналом.

У самій АСКОЕ – інша картина. Лічильники енергії в точках споживання вважаються первинними вимірювальними перетворювачами (ПВП), або давачами АСКОЕ. Енергетичний сигнал вже на виході ПВП перетворюється в інформаційний сигнал такого вигляду, з яким зручно працювати в АСКОЕ – телемеханічній системі, що обробляє велику кількість повідомлень від розгалужених у просторі термінальних споживачів. Структура АСКОЕ нестабільна, тому що ця система формується на об'єкті експлуатації із агрегатних засобів вимірювань та засобів обчислювальної техніки, які має хазяїн об'єкта. Але лінії зв'язку між пристроями ущільнення інформації та обчислювальною частиною АСКОЕ звичайно є загальними для групи каналів. Цими лініями зв'язку між пристроями ущільнення інформації та комп'ютером можуть бути радіоканали, телефонні лінії, силові або прості фізичні пари, що працюють в найрізноманітніших умовах, звичайно, на відкритому повітрі.

Треба розрізняти вимірювальні канали (ВК) об'єкта АСКОЕ, що починаються з основної енергетичної магістралі й закінчуються лічильниками енергії (ПВП), та ВК АСКОЕ, що починаються з ПВП і закінчуються обчислювальною частиною АСКОЕ. Окрім того, треба виділяти обчислювальні та керуючі канали (за ДСТУ 2709-94), обчислювальні компоненти (за ДСТУ 2681-94) та програмні засоби (за ДСТУ 2844-94).

Використання в АСКОЕ обчислювальної техніки з розвиненим програмним забезпеченням призвело до необхідності розглядати програмні компоненти як значущі об'єкти метрологічного забезпечення. Наявність обчислювальних каналів у всіх АСКОЕ та керуючих каналів в деяких АСКОЕ вимагає розробки спеціальних методів і підходів до метрологічної атестації (МА) і повірки АСКОЕ. Для всіх видів АСКОЕ характерна відсутність необхідної нормативної документації з МЗ обчислювальних компонентів, обчислювальних та керуючих каналів, оскільки раніше вони взагалі не вважалися об'єктами МЗ.

Методологія МЗ ІВС раніше була зорієнтована, головним чином, на вимірювальні канали. Підвищення впливу алгоритмів і програмних засобів на результат і точність функціонування АСКОЕ змусило регламентувати основні процедури метрологічного забезпечення їх програмних компонентів (ПК). Нами була розроблена типова програма МА (ПМА) програмних компонентів.

Зупинимося на статистичному методі послідовного контролю та імітаційного моделювання АСКОЕ. Цей метод ми називали по-різному, наприклад, метод МШКАС – “метод імовірнісного інтегрального контролю автоматизованої системи”. Але найвдалішою, на наш погляд, є назва “розрахунково-експериментальна оцінка ризиків” (РЕКОРИЗ). Метод РЕКОРИЗ дає можливість врахувати особливості АСКОЕ і автоматизувати контроль МХ АСКОЕ. Однак автоматизований контроль вимагає створення спеціальних зразкових засобів, а також принципово нових підходів до розробки алгоритмів і машинних програм. Оскільки керування контролем системи повинна здійснювати ЕОМ, яка входить до складу системи, метод можна назвати самоконтролем системи.

За методом РЕКОРИЗ на входи електричних трактів системи, що контролюється, підключається (при відімкнених давачах) зразковий програмно керований засіб, що забезпечує подачу з певною дискретністю уніфікованих сигналів. Комп'ютер “перебирає” всі можливі значення вимірювальних параметрів. За результатами математичної обробки сигналів на виході системи (або тестового простору можливих станів системи) обчислюються значення ризиків функціонування АСКОЕ. Для цього в РЕКОРИЗ використані математичні моделі придатних і дефектних об'єктів системних досліджень, робочий алгоритм функціонування конкретної АСКОЕ, що контролюється, а також статистичний метод автоматизованого послідовного контролю випадкових вибірок, який було розроблено нами раніше.

Процеси контролю, повірки, ідентифікації, діагностики або дослідження складних систем характеризуються не детермінованими (точність, похибка), а складнішими імовірнісними мірами їхньої якості, а саме – вірогідністю або ризиками. Вірогідність – імовірнісний аналог точності, ризик – імовірнісний аналог похибки. Практично зручніше використовувати похибку замість точності, ризик – замість вірогідності. Тому

в РЕКОРИЗ для кожної системної функції оцінюються апіорний ризик виробника і апостеріорний ризик споживача.

Апіорний ризик виробника багатоканальної вимірювальної системи – це імовірність того, що придатний результат спільного (звичайно побічного) виміру буде визнаний негідним внаслідок невірної оцінки похибки або вірогідності цього результату:

$$R_B^{\text{АПР}} = \lim_{N_{\text{Д}} \rightarrow \infty} (N_{\text{ВН/Д}} / N_{\text{Д}}).$$

де  $N_{\text{Д}}$  – загальне число дійсних об'єктів, що контролюються;  $N_{\text{ВН/Д}}$  – число дійсних об'єктів, що в процесі контролю будуть визнані недійсними.

Для тієї самої системи апостеріорний ризик споживача – це імовірність того, що визнаний придатним результат спільного, багатоканального виміру насправді негідний:

$$R_C^{\text{АПОСТ}} = \lim_{N_{\text{ВД}} \rightarrow \infty} (N_{\text{Н/ВД}} / N_{\text{ВД}}),$$

де  $N_{\text{ВД}}$  – загальне число об'єктів, визнаних дійсними;  $N_{\text{Н/ВД}}$  – число об'єктів, що були визнані дійсними, але є недійсними.

Подані співвідношення для розрахунку ризиків визначають тактику імітаційного моделювання роботи каналів АСКОЕ.

Нами використано три рівні оцінки названих вище ризиків. Ризики першого рівня оцінюють аналітично з оперативної характеристики контролю похибки того компонента каналу, що вносить найбільші викривлення у вимірювальну інформацію.

Ризиками другого рівня назвемо ризики, що отримують за допомогою імітаційного моделювання, коли враховуються викривлення вимірювальної інформації, що вносяться давачами, алгоритмічними похибками і похибками обчислень. Під час імітації роботи ВК використовують робочу машинну програму АСКОЕ. Тут похибки компонентів електричного тракту ВК вважаються істотно меншими за похибки давача і ними нехтують. Число машинних експериментів для збільшення глибини статистичної обробки при розрахунку ризиків другого рівня бажано збільшувати (приблизно до 50000 в кожній досліджуваній точці).

Ризиками третього рівня називаємо ризики, що одержують експериментально за допомогою зразкових генераторів сигналів, що підключаються замість давачів на входи електричних трактів. Ці ризики зумовлені неідеальністю (похибками) як електричних трактів каналів АСКОЕ, так і похибками програмних засобів АСКОЕ, оскільки для обчислень ризиків використано робочу машинну програму АСКОЕ. Зразковий генератор сигналів повинен мати вищий клас точності, ніж канал, що контролюється за його допомогою (хоча б на 5 % точніше – при використанні спеціального методу автоматизованого послідовного контролю). За відсутності зразкового генератора сигналів ризики 3-го рівня можна оцінити імітаційним моделюванням, використовуючи значення похибок компонентів вимірювального каналу з технічних умов.

Розроблено два алгоритми методу РЕКОРИЗ: для АСКОЕ, що проектуються, та для АСКОЕ, що перебувають в експлуатації. Для АСКОЕ, що проектуються, алгоритм будується за схемою "розрахунок – моделювання систематичних складових похибки – моделювання всіх складових похибки"; а для АСКОЕ, що перебувають в експлуатації, алгоритм будується за схемою "розрахунок – моделювання систематичних складових

похибки – натурний експеримент". Замість розрахунку ризиків на нульовому рівні можна використовувати їх табульовані значення.

На підставі значень ризиків трьох рівнів запропоновано інженерний критерій значущості похибки програмних засобів (прийнято, що алгоритмічне і програмне забезпечення повинно вносити не більше ніж 10 % спотворень у вимірювальну інформацію порівняно з технічними засобами ВК). У разі значущості похибки програмних засобів слід проводити МА програмних компонентів (ПК) АСКОЕ.

Метод застосовано під час МА програмно-технічних комплексів "Proteus-2000" (Англія) та "Series-4" (США) для АСКОЕ природного газу. За методикою МА для кожного електричного тракту (ЕТ) визначають максимуми ризиків на множині досліджуваних точок. Ці екстремальні значення ризиків порівнюють із межами допустимих значень ризиків і використовують як норми даного ЕТ. Якщо електричні тракти ідентичні, контроль максимальних оцінок ризиків для цих трактів може бути вибіркоким. Різноманітні ЕТ діляться на групи однотипних, і для кожної групи здійснюється вибірковий контроль.

Для точок з екстремальними значеннями ризиків перевіряються критерії істотності похибок програмних засобів. Якщо істотність похибок програмних засобів підтверджується, рекомендовано проведення МА обчислювальних компонентів. Якщо всі електричні тракти ідентичні і обробка даних в усіх контрольованих точках робиться за однією і тією самою програмою, то процедуру перевірки істотності похибок програмних засобів достатньо провести один раз, для однієї вибраної досліджуваної точки.

Після атестації електричних трактів програмно-технічних комплексів Proteus-2000 та Series-4 метод РЕКОРИЗ дав змогу гарантувати ризики функціонування 1-го і 2-го роду в межах 10 % і 5 % відповідно. Похибки програмних засобів гарантувалися в межах 10 % від похибок вимірювальних компонентів електричних трактів.

1. Колпак Б.Д. *Основы методологии организации и проведения метрологической аттестации ИИС // Измерительная техника. 1991. № 8. С. 11.* 2. Кричинец А.М., Колпак Б.Д., Калицинский Ю.Р. *Методология метрологической аттестации программных средств обработки измерительной информации // Український метрологічний журнал. Вип. 2-3. 1996. С.75-78.* 3. Б.Колпак. *Проблеми метрологічного забезпечення автоматизованих систем контролю та обліку енергоносіїв // Доповіді 1-ї міжн. наук.-практ. конф. "Системи транспортування, контролю якості та обліку енергоносіїв". Держ. Університет "Львівська політехніка". 1997 р. Львів, 1998. С.136-145.* 4. Колпак Б. *Стандартизація термінології метрологічного забезпечення автоматизованих систем контролю та обліку енергоносіїв // Матеріали 5-ї Міжнар. наук. конференції "СловоСвіт'98". Вісн. Державного університету "Львівська політехніка". 1998. № 336. С.158-161.* 5. Колпак Богдан. *Концептуальні засади підвищення точності систем обліку енергоносіїв // Вісн. Державного університету "Львівська політехніка". Проблеми економії енергії. 1999. № 2. С.154-157.* 6. Колпак Б. *Метрологічне забезпечення керуючих каналів автоматизованих систем контролю та обліку енергоносіїв // Вісн. Державного університету "Львівська політехніка". Спец. випуск. Доповіді 1-ї міжнар. наук.-практ. конференції "Проблеми економії енергії". 16-19 червня 1998 р. Львів: 1998. С.138-142.* 7.

*Kolpak B. Automation of monitoring of metering systems of energy carriers // Abstracts of the International Conference "Actual problem of measuring Problems" ("Measurement-98"). - Section 3. - 7-10 September 1998. K., 1998. P. 214-215. 8. Колпак Б. Д. Нові підходи до метрологічного забезпечення обліку та витрати газу // Методи та прилади контролю якості. 1999. № 3. С. 54-59.*

УДК 534.782:621.3

## **АВТОМАТИЧНА КОМПЕНСАЦІЯ СИСТЕМАТИЧНИХ ПОХИБОК ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗРАХУНКОВИХ ПОПРАВОК ПРИ ВИМІРЮВАННЯХ КОМПЛЕКСНИХ ВХІДНИХ ВЕЛИЧИН**

© Євтух П.С., 2000

Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя

**Розглядаються особливості застосування алгоритму автоматичної компенсації систематичних похибок за допомогою розрахункових поправок для випадку вимірювання комплексних вхідних величин.**

**The peculiarities of usage the algorithm of automatic compensation of the systematic errors by means of calculating correction for the case of complex input data measuring is shown in the paper.**

У метрологічній практиці систематичну похибку компенсують, застосовуючи поправки, які визначають експериментально на вимірювальному стенді за допомогою зразкової апаратури. Однак іноді, наприклад, під час пусконаладжувальних робіт, в колах із застосуванням високовольтних вимірювальних трансформаторів струму та напруги за місцем їх експлуатації, експериментальну поправку визначити неможливо через відсутність необхідних технічних засобів. Проте у цих випадках у технічних паспортах часто наводяться відомості про значення похибок номінального коефіцієнта перетворення, отримані на установках високої точності заводу-виготовлювача. У попередній роботі\* для таких випадків поданий спосіб заміни експериментальної поправки близькою до неї розрахунковою, застосування якої дає змогу істотно зменшити значення систематичної похибки за рахунок збіжності ітераційної процедури компенсації, побудованої відповідно до спеціально розробленого алгоритму. Однак при вимірюваннях комплексних вхідних величин можливість використання розрахункових поправок та алгоритму їх застосування вимагає додаткового обґрунтування.

---

\* Євтух П.С., Літаков А.О. Про алгоритм корекції похибок вимірювальних трансформаторів струму // Енергетика і електрифікація. 1995. № 5. С.38-40.