

КОСС В.А.

полковник запасу, старший науковий співробітник Інституту проблем математичних машин і систем НАНУ.

З.Я. КОЗАНЕВИЧ

к.т.н., викладач Державного технічного університету «КПІ»

Я.О. КРОХІН

інженер

УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

(ФАКТОМЕТРІЯ ЯК МЕТОД ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ СИТУАЦІЇ НА ОБ'ЄКТІ УПРАВЛІННЯ)

Викладено вступ в фактометрію. Total Quality Control (тотальний контроль якості), Quality Control (локальна перевірка якості), технічна діагностика, надійність у фактометрії змінюються на Total Quality Measurement (тотальне вимірювання якості), де в значній мірі виправляються похибки метрології. Похибки вимірювань, які в багатьох випадках є причиною аварій і катастроф зменшуються до рівня систематичної похибки засобів повірки.

Вступ

При проектуванні складних систем та їх автоматизації ситуаційна природа процесу управління життєвим циклом не завжди враховується. Основна увага в сучасних розробках АСУ для систем великої розмірності приділяється ліквідації наслідків криз (ситуаційні центри) і менше приділяється уваги створенню технологій попередження кризи (інтелектуальна підтримка штатного управління). В теоретичних дослідженнях зовсім мало уваги приділяється таким аспектам проблем ситуаційного управління, як *зміна природи процесу управління* при переході стану об'єкта із штатного до кризового. Одна з причин криється в назві об'єкта.

Назва об'єкта для дослідника може містити в собі як реальний стан, так і фантом минулої уяви про його властивості, який є перепорою для усвідомлення реальної ситуації. Складна технічна система, наприклад, літак на етапі його проектування несе в собі узагальнений образ деякого класу об'єктів типу літак, хоча саме цього реального літака в природі ще не існує. Коли літак побудований і стоїть в ангарі, він теж ще не є завершеною системою, а тільки впорядкована частина деталей. Для того, щоб він став системою, властивості якої асоціюються з назвою *літак*, до цієї нього потрібно додати пілотів,

аеродромну систему навігації, постачання ресурсами та конкретний регламент функціонування. Тільки з цього моменту літак отримує *здатність функціонування за призначенням*, а дослідник може констатувати, що перед ним є дійсно той об'єкт, який він бажає дослідити як динамічну систему.

В життєвому циклі літака неминуче настає ситуація, коли він починає втрачати свої початкові властивості, а з ними і здатність функціонувати за призначенням. Першою ознакою деградації є втрата частини функцій. Наприклад, розгерметизація кабіни не дозволить літаку виконувати польоти на середніх і великих висотах, перевозити людей і т.п. Але об'єкт все ще має назву літак і якимось функціонує. Якщо не усунути несправності, то деградація неминуче приведе до втрати здатності функціонувати за призначенням. Наприклад, літак розігнався і не зміг злетіти або злетів та не може випустити шасі для посадки. І хоча до самої аварії ще є проміжок часу, який можна використати для мінімізації шкоди, все ж назва *літак* вже містить в собі фантом його минулих властивостей. Аварія неминуча і подальша доля літака не буде пов'язаною з назвою *літак*, хоча в архівах документів він і буде так іменуватися навіть після утилізації. *Для визначення безпеки ситуації в складній системі недоцільно користуватись традиційною назвою об'єкта, треба користуватись ознаками його безпеки.*

В наведених прикладах очевидно, що *здатність функціонувати за призначенням* служить дослідникові об'єкта *літак* критерієм для визначення ситуації в його стані: *штатна, загроза кризи, криза*. Саме цей критерій є основою для рішень персоналу при визначенні технології управління об'єктом: *штатне або кризове управління* [1-3]. Система управління літаком та її персонал керують в межах повноважень за посадою і знаходяться постійно в стані прийняття рішень. Їх рішення повинні бути адекватними до ситуації.

В штатній ситуації рішення приймаються з набору посадових інструкцій, направлених на недопущення криз. Сигналом, що вимагає негайного прийняття рішення, є перехід об'єкту в стан деградації частини

функцій – ситуація загрози кризи. *В цей момент прийняттям рішень з набору посадових інструкцій ще можливо повернути об'єкт в штатну ситуацію.* Для дослідника процесу управління об'єктом цей момент є пороговим. З переходом за його межу настає криза: керування об'єктом штатними засобами і методами не можливе. З цього моменту потрібна інша технологія – технологія кризового управління (аварійної посадки, аварійного гальмування).

В наведених прикладах перехід межі між загрозою кризи і реальною кризою фатальна для об'єкту літак. У визначенні цієї межі персонал покладається на покази приладів, які сигналізують про стан систем і процесів на об'єкті. Саме в адекватній взаємодії персоналу і приладів криються причини багатьох техногенних аварій та катастроф.

В цій статті викладено метод, названий *фактометриєю*, який дозволяє персоналу бути в значно більшій мірі впевненим, що за показами приладів в кожен момент часу експлуатації криється саме літак, що здатний функціонувати за призначенням, а не сукупність впорядкованих деталей, які приречені на аварію.

Фактометрія як метод екстраполяції ситуації на об'єкті управління

Початково областю застосування фактометрії [4] було вимірювання якості [5,6], згодом виявились і інші застосування [7].

Вимірювання якості змінює життєвий цикл складних виробів. В середині 20-го століття доктор А.Фейгенбаум [8] проголосив принцип всезагального контролю якості, який „полягає в тому, що такий контроль повинен розпочинатися з розробки виробу і закінчуватися тоді, коли він поступає в руки користувача” [8]. Цей принцип дозволив покращити якість виробів [9], але відображав точку зору розробника і виробника, але не користувача.

З ростом складності техніки такий підхід почав приводити до аварій та техногенних катастроф (кризових ситуацій). Тому поява фактометрії передбачає єдиний підхід до розробки, виготовлення та експлуатації виробів.

Це дозволяє замінити легальний випуск прихованого браку складних виробів на виготовлення виробів, безвідмовних від випуску до утилізації через фізичне або моральне старіння. На відміну від загально визнаного розуміння гарантійного терміну експлуатації для складних технічних систем як *гарантія ремонту*, “грантовані” виробником відмови техніки слід тактувати як *вкладений до часу брак*. Тобто, під *браком* в техніці треба розуміти *виникнення відмов* (вихід параметру за норми технічних умов – ТУ) *в період гарантійного строку експлуатації*. В старому розумінні гарантійний строк допускає такі відмови і передбачає їх ремонт, але не гарантує безвідмовну роботу виробу. Метод фактометрії створює умови для усунення потенційних відмов ще *до їх виникнення*. Це досягається шляхом своєчасного проведення упереджувальних ремонтно-профілактичних робіт, підставою для яких є інтегральний показник стану системи (ситуації) [4-6].

Параметри нового виробу з часом деградують. Це – закон природи. Деградація не переходить у відмову, якщо необхідні ремонтно-профілактичні роботи проводяться до виникнення відмови, а не після неї. В цьому і полягає важливий постулат безпеки, якому протистоїть сучасне розуміння таких понять, як *контроль*, *надійність* і *технічна діагностика* [10,11]. Всі вони стають підставою для прийняття рішення тільки після виникнення відмови, а потрібно її попереджувати.

Місце майбутньої відмови може бути визначеним за параметром, значення якого увійшли до зони потенційної загрози. Для цього необхідним є моніторинг значень всіх параметрів на ще придатному виробі. Вихід значень параметрів за межі полів допусків дає можливість для екстраполяції майбутніх відмов, тобто визначає черговість та важливість упереджувальних ремонтно-профілактичних робіт.

Для вирішення завдань екстраполяції відмов, як правило, точності виробничої апаратури контролю [11] недостатньо. Потрібно на один-два порядки точніше. Дефіцит точності пояснюється тим, що вимірюється якість,

яка задана на шкалах так званих *істинних значень* параметрів, а для її оцінки використовуються *дійсні значення* [12] параметрів. На перший погляд різниця незначна – похибки вимірювання, але при багатократному повторенні (за кількістю параметрів складного виробу в цілому) її комплексне значення зростає.

За словником С.І.Ожегова „якість – сукупність істотних ... властивостей ... , що відрізняє предмет ... від інших і надає йому визначеність” – якість об’єкта у цілому. Наприклад, для літака такими властивостями є швидкість, максимальна висота, безпека та ін. Але при перевірці у виробництві та експлуатації простіше замінити їх параметрами окремих деталей та систем, на яких і побудовані ТУ – головний документ, що повинен відображати якість об’єкта у цілому.

В розділі „Технічні вимоги” ТУ містяться лише вимоги до параметрів деталей та підсистем як сукупності критеріїв, що обумовлюють якість об’єкта у цілому. Сукупність значень параметрів зразка у розділі методик ТУ відображена подвійною шкалою: *придатний – брак*. Таким чином, в ТУ спостерігаються відмінність між якістю виробу в цілому, яка не враховує похибки вимірювання, і можливістю апаратури для її вимірювання, яка має такі похибки. Це і є невичерпним джерелом кризових ситуацій, вину за які, здавалось би, можна покласти на сам метод контролю (Quality Control). Але останній цілком справляється з перевіркою виробів на стадіях розробки і виготовлення. Та помилкове застосування його при експлуатації є недоглядом метрології, що недогледіла дефіцит точності вимірювань для показника *якості виробу в цілому*. Методу контролю невідоме метрологічне поняття *похибка вимірювання*. Традиційна присутність метрології спостерігається лише в вимогах перевірки засобів для вимірювання параметрів окремих деталей складних систем.

За сучасними поглядами похибка вимірювання відображена розподіленням. Це значить, що верхня границя значення похибки залежить від

кількості повторних вимірювань і може бути як завгодно великою. Мірою її значень є моменти розподілення. Часто використовується середньоквадратичне значення σ прямого [12] вимірювання. Поряд з прямими застосовуються опосередковані [12] вимірювання на основі відомої залежності результату від параметрів. Кількість параметрів n не обумовлено. Похибка опосередкованого вимірювання, без достатнього обґрунтування, підраховується за формулою квадратичного додавання¹. Так, у випадку однакових розподілень похибок параметрів, похибка опосередкованого вимірювання буде 2σ при $n=4$, 3σ при $n=9$. Значення цієї похибки уявляється довжиною найбільшої діагоналі n -мірного гіперпрямокутника, тому зростає із збільшенням n . Кількість параметрів виробів може бути великим: ракети – сотні, літаки – тисячі. Тому формально можна порахувати похибку результату і в цьому випадку: 10σ , або 30σ , або ще більше при однакових розподіленнях параметрів. Фактично при такій кількості параметрів будуть працювати лише методи контролю тотальної якості. Методи метрології застосовується при значно меншому n . Для порівняння вкажемо, що ширина поля допуску при метрологічному контролі починається від 6σ .

Фактометрія ніби то „відбирає” в метрології її “улюблені” показники похибки, використовуючи як початковий матеріал дійсні значення. Фактометрія зменшує похибку результату аж до систематичних похибок засобів повірки. *Досягається повна метрологічна визначеність вимірювань результату за параметрами при практично довільній їх кількості.* Це означає, що зменшуються не тільки похибки загального результату, а й кожного параметру. Наприклад, повна метрологічна визначеність вимірювань якості літака в цілому (за всіма його тисячами параметрів) при існуючій точності засобів вимірювань дозволяє отримати результат, який забезпечує єдність вимірювань [12] і тисячі *точних поточних значень* його параметрів. Відповідно, прогнозні оцінки на основі самодіагностики придатного виробу можуть дати

¹ Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. – М.: Мир, 1985.

перелік чергових ремонтно-профілактичних робіт, що потрібні для безперервного підтримання безаварійності. Очевидно, що опрацювання тисяч параметрів для кожного опосередкованого вимірювання неможливо виконати без сучасних обчислювальних засобів. Метод фактометрії став доступним саме завдяки сучасним потужним засобам обчислювання.

Можливо тимчасово, за відсутності відповідного конкретного програмного забезпечення, альтернативним рішенням для не дуже складних виробів може стати майже стандартний метрологічний спосіб [5] вимірювань якості виробу за багатьма параметрами. При цьому похибка вимірювання зменшується подібно до похибки багаторазових вимірювань однієї величини.

Математичні перетворення (для повної метрологічної визначеності) полягають в множенні інтегральних функцій розподілення [13]. Цим функціям притаманні не завжди завважувані властивості: добуток довільної кількості інтегральних функцій розподілення є інтегральна функція розподілення. У фактометрії шукається інтегральна функція розподілення максимального відліку результату. Метрологія же шукає всі відліки результату. Очевидно, вони знаходяться між максимальним і мінімальним відліками.

Введення нового терміну – *взаємодіюча інтегральна функція розподілення* – пояснюється відсутністю його в літературі, принаймні цей термін не знайдено. „Функціональне перетворення випадкових безперервних величин змінює їх функції розподілення” [13]. В нашому випадку взаємодіючі інтегральні функції розподілення похибок параметрів утворюються на основі функціонального перетворення розподілень похибок прямих вимірювань параметрів, які беруть участь в опосередкованому вимірюванні як вхідні (початкові [7]) дані.

Спрощене графічне рішення задачі зростання точності опосередкованого вимірювання демонструється на наступному трьохпараметричному прикладі (табл.1, рис.1).

Нехай потрібно визначити похибку результату z опосередкованого вимірювання за трьома параметрами v_1, v_2, v_3 , зв'язаними залежністю $z=v_1+2v_2+v_3^2$, і розподіленими нормально з дисперсією 1. В табл.1 наведені числові значення взаємодіючих інтегральних функцій розподілення похибок, а на малюнку – графічне рішення.

Таблиця1. Початкові розподіли, проміжні дані та результати графічного рішення													
Шкала похибок вимірювань y/σ													
y/σ	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Початкові розподіли													
$I \geq F(x) \geq 0$	0.01	0.02	0.16	0.5	0.84	0.98	0.99	1	1	1	1	1	1
Проміжні дані													
$F_1(x_1)$	0.01	0.02	0.16	0.5	0.84	0.98	0.99	1	1	1	1	1	1
$F_2(x_2)$	0.1	0.16	0.18	0.5	0.69	0.84	0.93	0.98	0.99	0.99	1	1	1
$F_3(x_3)$	0	0	0	0	0.3	0.47	0.59	0.67	0.74	0.80	0.85	0.88	0.9
Перший результат графічного рішення													
$F(y)$	0	0	0	0	0.17	0.39	0.54	0.66	0.72	0.79	0.84	0.88	0.9
Другий результат графічного рішення													
$F_1(x_1+7)$	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.16	0.5	0.84	0.98

Початкові дані інтегральної функції $F(x)$ - розподілення похибок параметрів, - за параметрами v_1, v_2, v_3 трансформуються в проміжні результати інтегральні функції $F_1(x_1), F_2(x_2), F_3(x_3)$, які пермножуються і дають результат z у вигляді інтегральної функції розподілення похибки результату $F(y)$. Помітно, що розмах кривої $F(y)$ менше розмаху кожного співмножника. Систематичну похибку $\sigma \geq 2$ потрібно врахувати. Якщо криву максимальної крутості $F_1(x_1)$ штучно зсунути в область максимальних значень решти функцій, наприклад на $7\sigma (F_1(x_1+7))$, то крутість результату буде ще меншою.

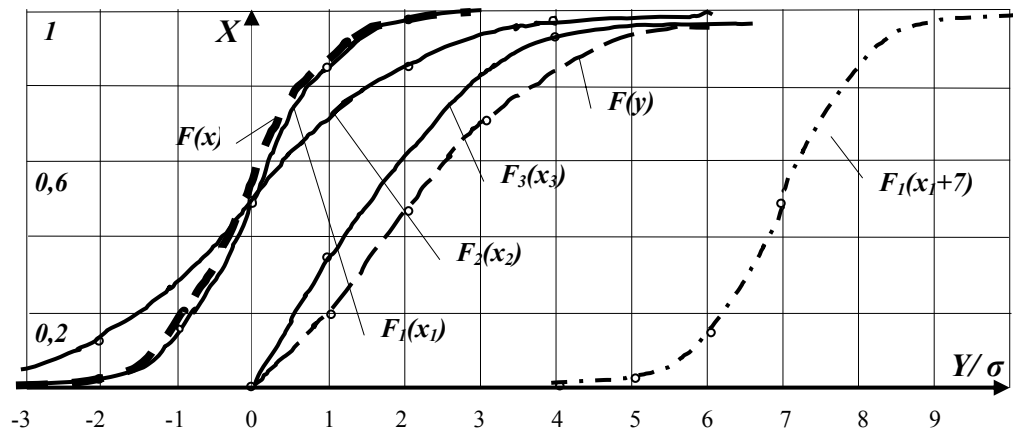


Рис.1. Графічне розв'язання задачі оцінки похибки опосередкованого вимірювання

Якщо крім трьох складових умовно додати ще два, що дають в сумі нуль, наприклад, $|x|-|x|$ або x^2-x^2 , то добуток похибок результату стає рівним нулю за рахунок нульових гілок взаємодіючих інтегральних розподілень. Звичайно, без похибок не може бути вимірювань. Нулеві похибки результату є тільки в рамках прийнятої моделі, в якій математичне сподівання початкових функцій розподілення суміщене за $Y/\sigma = 0$. В дійсності це суміщення виконане з систематичною похибкою перевірки, що повинно враховуватися при наступному наближенні.

Таким чином, похибка сукупності параметрів завжди менша, ніж розрахована за формулою квадратичного додавання. Вона може бути меншою за похибку найкрутішого доданка. В рамках прийнятої моделі її можна зробити нульовою. Помилка метрології полягає в тому, що вона розповсюджує на похибки взаємозалежності вимірюваних величин. Розподілення (інтегральні) похибок перемножуються. При багатократному вимірюванні однієї і тієї ж величини вона залишається незмінною, а її похибки – зменшуються. Формула квадратичного додавання не враховує цю властивість вимірювань.

Зменшення „до нуля” похибок вимірювання параметрів забезпечує єдність вимірювань [12], під якою розуміють, що знижена „до нуля” похибка результату покриває нулеве значення еталону. При контролі еталон відсутній. Тому в складних виробках не забезпечується єдність вимірювань. Доводиться дивуватися, як в таких умовах літаки ще літають.

Кожен клас систем використовує притаманні йому методи і засоби. Так в системах автоматичного регулювання використовують для регулювання сигнал відхилення. Шеннон [14] для задач управління застосував теорію фільтрів. *Фактометрія, вимірюючи показник якості періодичного багатопараметричного прогнозу, передбачає майбутню ситуацію у стані системи*, характеристики якої в цілому невідомі, але задані параметрами. При цьому не потрібні ніякі додаткові початкові дані, наприклад, набір статистичних характеристик.

Ще одним прикладом застосування фактометрії є *прогноз якості* (терміну експлуатації до можливої відмови). Метод фактометрії [15] треба впровадити у відповідні галузі технічних наук та навчати у ВУЗах. Зокрема, для уникнення кризових ситуацій необхідно відкоригувати нормативні документи з безпеки багатьох складних виробів на основі вимірювання *якості виробу в цілому*. Єдиний фактометричний підхід передбачає вимірювання якості на всіх етапах життєвого циклу виробу. Ще на етапі проектування необхідно передбачити можливість оптимального моніторингу параметрів в експлуатації. Ще у виробництві потрібно ввести параметр *якість об'єкту в цілому* в ТУ. При цьому метод метрологічного контролю треба виключити з ТУ як джерело кризових ситуацій через його великі похибки. Метод вимірювання тотальної якості зробить безпомилковою роботу відділ технічного контролю і військової прийомки і буде використаним на етапі експлуатації для безперервного підтримання заданої якості.

Висновки

У сучасних розробників систем автоматизації управління відзначається тенденція концентрації зусиль на *нечіткій інформації* і на *умовах невизначеності*. Тенденцію повністю можна пояснити з позиції того ступеня невизначеності, який допускає замовник в формулюванні початкового завдання на розробку складної системи. Джерело згаданої тенденції – в нездатності замовника і розробника піднятися на позицію метарівня по відношенню до вирішуваної проблеми.

Нормативне і правове поле обмежень, яке визначає регламент функціонування об'єктів замовника, є серйозним підґрунтям для нехтування позицією метарівня при проектуванні. Вирішення питань про зміну регламенту функціонування, як правило, не входить в компетенцію ні замовника, ні розробника. Цей обсяг роботи належить до системного проектування. Системний проект в комплексних АСУ для об'єктів великої розмірності є

основою інтеграції майбутніх рішень розробників підсистем [16]. Його вартість може коливатись від 10 до 20% від вартості проекту. В умовах обмеженого фінансування замовник жертвує системним проектом, надаючи розробникам автоматизувати об'єкти на засадах існуючого нормативно-правового регламенту функціонування. Здається, що заощаджуються час і кошти, але при такій „економії” втрачається адекватність витрачених зусиль на автоматизацію отриманому приросту ефективності процесу управління.

Неминуче, з ростом потужності базових засобів автоматизації, технології управління будуть все більше орієнтуватися на *умови визначеності* і на *чітку інформацію* [17,18]. Саме для таких технологій фактометрія дає унікальний підхід до підвищення визначеності початкової інформації. Розглянутий в статті метод може знайти широке практичне застосування для вирішення завдань моніторингу об'єктів. Яким би чином не була сформульована мета дослідження складної системи – вимірювання якості, визначення гарантоздатності, тобто *здатності функціонувати за призначенням*, - для її досягнення знадобиться метод фактометрії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Косс В.А. Особенности процедур планового и кризового управления войсковыми формированиями // Наука і оборона. - 2004. - №1. – С 25-32.
2. Косс В.А. Когнитивная визуализация базовых процедур процесса принятия решений в системе управления активным объектом// Математические машины и системы. - 2004.-№3.–С 102-109.
3. Косс В.А. Комплексна інтелектуальна підтримка процедур ситуаційного управління активними об'єктами // Математичні машини і системи. - 2004.-№4.–С 13-28.
4. Крохин Я.А. Фактометрия. Техногенне катастрофи между прошлым и будущим. – К.: Логос, 2004. – 92с.
5. Патент 41619 України, М. кл. 7 B07C5/00, G01D21/00. Спосіб сортування виробів і пристрій для вимірювання якості виробів у зазначеному способі / Я.О.Крохин (Україна). – Опубл. 17.01.2005. Бюл. № 1.
6. Крохин Я.О. Вимірювання якості. // Зб.доп. Системи підтримки прийняття рішень СППР'2006. – К.: НАНУ, 2006. – С.83-85.
7. Крохин Я.О. Спосіб опосередкованих вимірювань. Заявка на винахід № а 2006 09321. Державний департамент інтелектуальної власності України, ДП “Український інститут промислової власності”. Київ, 2006.
8. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции. – М.: Экономика, 1986. – 472с.
9. Макино Т., Охаси М., Докэ Х., Макино К. Контроль качества с помощью персональных компьютеров. – М.: Машиностроение, 1991. – 222с.
10. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240с.
11. Автоматическая аппаратура контроля радиоэлектронного оборудования / под ред. Н.Н.Пономарёва. – М.: Сов. Радио, 1975. – 328с.
12. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. Чинний з 01.01.1995.
13. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Кн. 1. – М.: Сов. Радио, 1966. – 728с.
14. Шеннон К. Упрощённый вывод линейной теории сглаживания и предсказания по методу наименьших квадратов// Сб. К.Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: И.Л., 1963. – С.687-708.

15. Концепція Державної цільової програми «Вимірювання якості» (проект) / www.krokhin.com.
16. Морозов А.О., Косс В.А. Управління розробленням Єдиної СУ Збройних Сил України // Наука і оборона. - 2006. - №2. – С.30-34.
17. Теслер Г.С., Косс В.А. Системно-кибернетический подход к анализу функций активных объектов для их реализации в современных технологиях // Математичні машини і системи. - 2006.-№2.-С.3-13.
18. Косс В.А. Модель естественного интеллекта и пути реализации задач искусственного интеллекта // Математичні машини і системи. – 2006.-№4.-С.21-35.

В.А.Косс

З.Я. Козаневич

Я.О. Крохін