

АЛЬОШИН Г. В., д. т. н., професор,
ПАНЧЕНКО С. В., д. т. н., професор,
ПРИХОДЬКО С. І., д. т. н., професор,
(Український державний університет залізничного транспорту)

Ефективність сепарабельного програмування в задачах оптимізації інформаційно-вимірювальних систем

Відомо, що інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) будь-якого призначення існують на множинах структур, сигналів і технічних параметрів, які потрібно отримати за єдиними тактико-технічними вимогами. Але спроби створити узагальнювальні методи розрахунку та оптимізації систем [10] стикаються з комплексом невирішених проблем, з некоректністю функціонала правдоподібності (ФП), невизначеністю теорії вимірів, нечіткістю множини вартості та ін. [1 – 9].

Не підтримують згаданий ФП такі факти [2, 3]: 1) спостережні вимірювачі взагалі необов'язково використовують автокореляційну функцію сигналу; 2) цифрові вимірювачі також працюють за іншими принципами; 3) багатошкальні вимірювачі взагалі не вкладаються у ці теорії; 4) підвищення точності вимірів затримки сигналу, напевне, залежить від ширини спектра, але це впливає не з цієї теорії потенціальної точності, а з факту підвищення крутизни фронтів сигналу на виході приймача.

Також показано шлях виходу з цієї ситуації і роль узагальненого підходу до задач оптимізації ІВС з послідовним з'ясуванням факторів: 1) що таке радіовимірювання; 2) як за функцією обміну визначити показники якості ІВС; 3) які шляхи розвитку теорії вимірювання та основ оптимізації ІВС; 4) визначення найкращого методу їх оптимізації.

Ключові слова: оптимізація інформаційно-вимірювальних систем, класифікація систем за якістю.

Аналіз досягнень останніх досліджень і публікацій [1 – 9] у сфері узагальненої теорії оптимізації ІВС на трьох множинах

1. Задачі оптимізації ІВС відразу на трьох множинах, структур, сигналів та параметрів поставити і вирішити можна тільки для вимірювальних систем.

2. Найменш розроблені актуальні методи отримання функцій обміну з використанням показників вартості ІВС і функціональних елементів (ФЕ), тим більш що вартість для прогнозів є по суті нечіткою множиною.

3. На рівні системних (глобальних) задач, крім математичного програмування, використовувались також методи математичної індукції, геометричного, блокового, дискретного і сепарабельного програмування.

4. Ставити глобальні задачі стало можливим на множинах параметричного синтезу ІВС, а також на множинах структурного синтезу вимірювальних систем, що визначає як методи вимірювання, так і структуру вимірювальних каналів.

5. Для найбільш результативного етапу оптимізації систем на останньому етапі (цифровізації), коли отримується саме цифрове оптимальне рішення, пропонується метод сепарабельного програмування

ІВС за умовним критерієм якості при обмеженнях за вартістю, який найбільш ефективний для застосування за своїми показниками якості.

6. При синтезі ІВС треба враховувати, що теоретична функція передачі будь-якого каналу ІВС дорівнює добутку функцій передачі послідовних функціональних елементів (ФЕ). Але моделювати структуру таким чином, тобто послідовним підключенням некоректно, тому що при цьому змінюється вхідний опір наступного ФЕ і передача ланки. Тому практично слід вхідний опір наступної ланки значно підвищити за рахунок емітерного повторювача, трансформатора або польового транзистора. При цьому впаде підсилювання, яке треба корегувати додатковим підсиленням функції передачі.

7. Також замість відомого виразу «потенціальної точності» вимірів отримано узагальнювальну формулу, яка є основою для розвитку теорії вимірювань і теорії оптимізації ІВС і вперше виявляє залежність точності вимірів від апріорного діапазону.

Формулювання мети статті

Мета статті – показати, що існують логічні основи узагальнення та універсалізації задач з теорії вимірювання параметрів сигналу, з умовної та безумовної оптимізації ІВС, які мають починатися з виявлення цільових функцій на основі кривих обміну.

Постановка проблеми оптимізації ІВС

Прийmemo майже філософське поняття про вимірювач, який по суті є перетворювач значень вимірюваної величини у значення відліку у напрузі для автоматики чи у цифровому вигляді для індикації.

Це є центральним моментом для отримання так званих, згідно з Гуткіним Л. С. [10], функцій обміну ІВС, які визначають зв'язки їх показників якості із заданими тактико-технічними вимогами (ТТВ).

Роль вимірювачів відіграють також відомі аналогові та цифрові детектори, дискримінатори, перетворювачі параметрів, можливо, у складі великих систем і систем автоматичного управління (САУ) або у складі каналів супроводу за параметром.

У разі супроводу параметра сигналу мають враховуватись також відповідні умови і динамічна похибка. При цьому потрібна достатня швидкість вимірювання і перебудови САУ, що мають бути не меншими за швидкість зміни процесу.

Найбільша чутливість досягається використанням явища резонансу, для вимірів кутів – діаграма спрямованості, для вимірів затримки часу – імпульс, його фронти або фаза сигналу чи сигнальні функції. Сигнальною функцією будемо називати сигнал на виході дискримінаторів каналів ІВС, призначених для вимірювань.

Розглянемо процес вимірювання. Будемо враховувати лише флуктуаційну заваду вимірювача зі смугою Π і з лінійною характеристикою θ В (рис. 1):

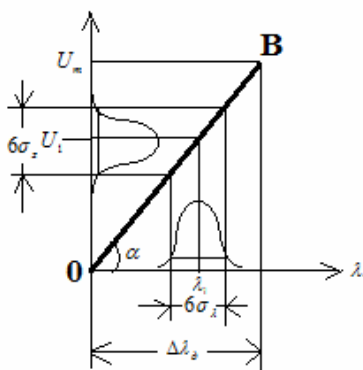


Рис. 1. Характеристика вимірювача:

$6\sigma_U$ - довірчий інтервал завади з квантилем, рівним 3;

$6\sigma_\lambda$ - довірчий інтервал параметра з квантилем, рівним 3;

$U_m, U_1, \lambda_1, \Delta\lambda_0$ - відповідно: діапазон відліків, відлік, точкова оцінка параметра та апертура (діапазон) вимірювача

Якщо вимірюємо параметр λ_1 , то на виході виникне напруга U_1 . Але ми знаємо, що вимір із завадою. Знаючи точність вимірів, визначимо довірчі інтервали $6\sigma_U$ і $6\sigma_\lambda$.

Вплив інших складових похибки вимірювань за рахунок неідеальностей, збурення, нестабільностей та інших факторів при проходженні радіотракту можна врахувати довірчим інтервалом на вході перетворювача [1 – 3].

З рис. 1 видно, що справедливим є відношення:

$$6\sigma_\lambda = 6\sigma_U = \frac{6\sigma_U}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Звідси

$$\sigma_\lambda^2 = \frac{\sigma_U^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha} = \frac{\sigma_U^2}{(U_1^1)^2} \tag{1}$$

Або

$$\sigma_\lambda^2 \leq \frac{\sigma_U^2}{(\Delta\lambda_0)^2} = \frac{(\Delta\lambda_0)^2}{q} = \frac{(\Delta\lambda_0)^2}{\frac{P_m}{N_0\Pi}} \tag{2}$$

де $q = \frac{U_m^2}{\sigma_U^2} = \frac{P_m}{P_s} = \frac{P_m}{N_0\Pi} \equiv \frac{P_m\Delta t}{N_0}$ - відношення

максимальної потужності сигналу до завади; N_0 - спектральна щільність загальної завади; Π - смуга частот вимірювача; Δt - час вимірювання.

Вираз (1) відрізняється тим, що він коректний на відміну від «потенціальної точності» і містить усі показники реальних вимірювачів, діапазон вимірювання та чутливість. У метрології кругизну шкали називають чутливістю, і вона разом з діапазоном визначає точність вимірів.

Сказане стосується будь-яких детекторів, у тому числі дискримінаторів будь-яких параметрів з двома сигнальними функціями, відносно зміщення яких впливає на кругизну.

Радіовимірювальні системи можуть бути з пасивною або активною ретрансляцією сигналу з його послабленням на передавальному кінці, у просторі і з підсиленням у приймальному каналі. Умови процесу проходження сигналу впливають на якість і на похибки перетворювань або вимірювань. Але вони малі і можуть враховуватись у довірчому інтервалі.

Вирази (1), (2) дають змогу зробити такі зауваження:

- ці формули справедливі і однакові для показників і структур як вимірювальних, так і інформаційних

систем і каналів. Однак смуга пропускання вимірювального сигналу значно менша, ніж в інформаційної системи, тому що потрібне значне і тривале згладжування результатів оцінки сигналу за час, менший за час кореляції процесу;

- згідно з формулою (2) найкращим є метод вимірювання при малому діапазоні і малій смузі пропускання каналу, тобто при гармонічному сигналі;

- праву частину формули (2), яка «є платою за точність», можна вважати умовами досягнення потрібної точності;

- нерівність (2) може бути представлена відносно будь-якого показника якості і служити цільовою функцією при оптимізації ІВС;

- якщо для ІВС або каналу потрібен малий і стабільний діапазон вимірів, то це легко досягається стаціонарною або смугою апертури дискримінатора.

Щодо теорії вимірювань

Великий діапазон дискримінатора забезпечити складно або неможливо. Тоді потрібно використати відомі або шукати нові методи розширення діапазону вимірювань. Відомі методи розширення діапазону – це панорамний та багатоканальний. Нові методи: багатоетапний, багатошкальний та комбінований. Ці методи розглянуто в роботах [1 – 8].

На будь-який дискримінатор, крім завади, впливають також паразитні фактори, які описано в роботах [1 – 3].

Вирази є основою для логічного зв'язку існуючих і нових методів дії радіоелектронних вимірювачів з будь-якими якостями і діапазонами вимірювання: 1) дискримінаторні вимірювачі; 2) пошукові або панорамні вимірювачі; 3) багатоканальні вимірювачі; 4) багатошкальні нові вимірювачі; 5) багатоетапні нові вимірювачі; 6) цифрові вимірювачі; 7) комбіновані нові вимірювачі.

Можна показати [1 – 3], що для однозначного оптимального вибору будь-якого методу вимірювача для заданих його показників, структури і алгоритму достатньо п'яти показників: 1) точності; 2) апіорного діапазону; 3) часу вимірів, що визначається смугою П; 4) інформаційної надійності (або квантиля) підстроювання або стикування шкал; 5) рівня сигналу, або відношення потужностей сигналу до завади, або вартості та ін. Це є основою для оптимізації вимірювачів на трьох множинах.

Постановка задач оптимізації ІВС за критерієм завадостійкості

Задачу можна розв'язувати методом математичної індукції, методом Белмана, методом геометричного програмування або методом невизначених множників Лагранжа при сепарабельному програмуванні.

Виявилось, що метод умовного сепарабельного програмування для такої задачі найбільш простий,

ефективний і розв'язок задачі отримано навіть в аналітичному вигляді.

Для якісних систем канали ІВС ураховують, крім завади у формі добутку, також сумісний вплив нестабільностей, збурень та неідеальностей моделей процесів. Наприклад, для доплерівської системи [1 – 3] з фазоманіпульованим сигналом за законом псевдовипадкової послідовності і супроводі за фазою, тактовою частотою, затримкою і кутами визначення швидкості літального апарата дисперсія похибки $\sigma_{\Delta f}^2$ може бути подана виразом (2) або у вигляді:

$$\sigma_{\Delta f}^2 = \frac{const}{\prod_{j=1}^{n_1} X_j},$$

де X_j - параметри ІВС і збурень та ін.; n_1 - число параметрів.

Особлива цінність виразу (2) полягає у тому, що викладені результати мають універсальний характер, є основою оптимізації і відносяться до будь-якого вимірюваного параметра. Фактично формула (2) є формулою Шенона.

Інформаційні системи мають своє призначення – відтворити посланий сигнал в умовах завад із заданою точністю і швидкістю передачі. Але для них, як і у вимірювачів, для телевізійних сигналів все одно існує вимога підтримувати заданий діапазон вихідного сигналу приймача «від рівня чорного до рівня білого».

Усі ФЕ інформаційного каналу відрізняються від ФЕ вимірювального каналу широкою смугою пропускання.

Опуклість задачі гарантує єдиний оптимум. Таким чином, простіша сепарабельна задача має вигляд:

$$\begin{aligned} \max \prod_{i=1}^n X_i \\ \text{при} \sum_{i=1}^n C_i(X_i) \leq C. \end{aligned} \quad (3)$$

Модернізований метод Вульфа

Задачу оптимізації ІВС (1), (2) за умовним критерієм максимуму завадостійкості з обмеженням за вартістю можна розв'язати будь-яким із багатьох градієнтних методів, але потрібне універсальне, спрощене рішення, яке б вирішувало проблему багатовимірності.

Відомим є універсальний метод Вульфа, який лінеаризує цільову функцію та обмеження, спрощує, тобто зводить задачу до лінійного програмування з

численними повторними складними і неточними ітераціями, але не вирішує проблеми багатовимірності.

Розв'язання задачі

Але якщо ми лінеаризуємо тільки обмеження, які самі по собі мають обмежену точність, то все змінюється при сепарабельній цільовій функції. Нелінеаризована функція корисності значно уточнює задачу, скорочує процес ітерацій, дає змогу отримати у результаті більш точну криву обміну, або оптимальне рішення, в аналітичному вигляді за рахунок заміни системи рівнянь підстановкою, навіть у несепарабельне, обмеження:

$$\sum [C_{i0}(X_{i0}) + C'_{i0}(X_{i0})(X_i - X_{i0})] \leq C. \quad (4)$$

Тоді задача розв'язується у загальному вигляді з використанням методу невизначеного множника Лагранжа λ . По суті Лагранж звів задачу з обмеженням (умовну задачу) до задачі без обмежень, додавши обмеження з невизначеним множником λ . Функція Лагранжа L має вигляд:

$$L = \prod_{i=1}^n X_i + \lambda \left\{ C - \sum_{i=1}^n [C_{i0}(X_{i0}) + C'_{i0}(X_{i0})(X_i - X_{i0})] \right\}.$$

Відшукуються всі рівняння за усіма n параметрами i за λ :

$$\frac{\partial L}{\partial X_j} = 0 \text{ для } j \in [1, n], \text{ а також } \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0.$$

Без лінеаризації обмежень потрібно було б розв'язувати складну систему $n+1$ рівнянь у цифровому вигляді.

У новому методі за рахунок лінеаризації обмежень (4), використання однотипного виду рівнянь і підстановки розв'язку однотипного рівняння в обмеження, тобто у вираз (4), отримуємо множник Лагранжа, і немає потреби розв'язувати систему рівнянь.

Більше того, отримуємо розв'язок в аналітичному вигляді.

Дійсно, оптимум знаходимо із системи рівнянь:

$$\frac{\partial L}{\partial X_j} = \frac{1}{X_j} \prod_{i=1}^n X_i + \lambda C'_{j0}(X_{j0}) = 0.$$

Позначимо $\prod_{i=1}^n X_i = a_0$.

Тоді однотипність цільової функції забезпечує залежність:

$$X_j = \frac{a_0}{\lambda C'_{j0}(X_{j0})}. \quad (5)$$

Підстановка (5) у вираз (4) дає змогу отримати значення λ :

$$\lambda = \frac{an}{C_{e0}}, \quad (6)$$

де $C_{e0} = \sum_{i=1}^n C'_{i0}(X_{i0})X_{i0}$. (7)

Підстановка λ (6) у (7) дає розв'язок задачі:

$$X_{j(1)} = \frac{C_{e0}(\bar{X}_0)}{nC'_{j0}(X_{j0})}. \quad (8)$$

Для лінійних обмежень це – кінцевий розв'язок, а для нелінійних – це ітераційна формула.

В індексі в дужках позначено номер ітерацій. Перші значення параметрів (початковий план) вибираються інтуїтивно з індексом – нуль. Оскільки всі функції опуклі, то розв'язок єдиний. Найбільший рівень завадостійкості ІВС $a_{\max(n)}$ стане сталим на останній ітерації з певною точністю:

$$a_{\max(n)} = \frac{(C_{e0}/n)^n}{\prod_{i=1}^n C'_{i0}}. \quad (9)$$

Вираз (9) є шукана функція обміну оптимальної ІВС за умовним критерієм завадостійкості при обмеженні на вартість.

Оскільки для спрощення алгоритму нелінійні функції ЛСР $C_{i0}(X_{i0})$ ми апроксимували в околиці початкового плану X_{i0} і далі лінійними функціями, то потрібно оцінити точність апроксимації або ввести межі діапазону в околиці X_{i0} виходячи від заданої точності лінеаризації. Для цього розкладемо функції $C_{i0}(X_{i0})$ у ряд Тейлора та обмежимося тільки квадратичними членами ряду:

$$C_i(X_i) = C_{i0}(X_{i0}) + C'_{i0}(X_{i0})(X_i - X_{i0}) + C''_{i0}(X_{i0}) \frac{(X_i - X_{i0})^2}{2!} + \dots$$

Будемо вимагати, щоб квадратичний член був значно меншим за лінійний (до 90 %), що рівноцінно приблизному виконанню нерівності:

$$X_{i(1),m} - X_{i(1)} \leq \frac{0,2C'_{i0}(X_{i0})}{C''_{i0}(X_{i0})}, \quad (10)$$

де $X_{i(1),m}, X_{i(1)}$ - відповідно межа діапазону апроксимації та значення параметра після першого етапу апроксимації.

У результаті розв'язання задачі ефективність ІВС згідно з виразом (9) значно зросте:

$$\frac{a_{(n)}}{a_{(0)}} = \frac{X_{(n)}^{(1)} * X_{(n)}^{(2)}}{X_{(0)}^{(1)} * X_{(0)}^{(2)}} \geq 10.$$

Пошук найкращого методу оптимізації

Можна узагальнити пошук найкращого методу оптимізації поставленої задачі (3) або інших задач.

Вибір найкращого методу оптимізації, або програмування, також можна прийняти, орієнтуючись на вектор показників:

- 1) універсальність;
- 2) простота алгоритму;
- 3) число ітерацій;
- 4) ускладнення алгоритмів зі збільшенням розмірності задач;
- 5) час аналізу умов задачі до і після оптимізації;
- 6) вплив обмежень на складність задачі;
- 7) кількість варіантів або сфер застосування задач.

Саме вибір методу оптимізації здійснюється за математичною формою задач оптимізації і за вказаним вектором показників якості.

Якщо б оцінки показників були числами, то найкращим був би метод послідовних поступів при попарному порівнянні векторів якостей двох методів. А якщо ні, то доцільне зрівняння ранжованих векторів якості методів.

Перший показник - це показник спрощування, по суті наріжний камінь науки, за Вільямом Оккамом [2], або принцип спрощування - «не слід розмножувати число сутностей над потрібне».

Цим принципом користався Вульф. Складну задачу він звів до простішої - за рахунок лінеаризації цільової функції та обмежень.

Оскільки лінійне наближення до функцій допустиме лише в дуже обмеженій області, то число

таких лінеаризацій і рішень буде значно більшим при великій кривизні функцій. Цей недолік методу Вульфа є «платою» за спрощення алгоритму. Оптимум визначається при кожній ітерації за певним напрямком, який називається коротшим спуском.

Розмірність задачі Вульфа збільшується у квадраті від числа змінних. Аналіз особливостей оптимуму ускладнюється. Тому звернемося до сепарабельного програмування.

Переваги нового методу сепарабельного програмування

Переваги нового методу полягають у тому, що він універсальний, простий і вирішує проблему багатовимірності. При його використанні складність і обсяг розрахунків збільшується пропорційно розмірності задачі.

Крім того, він дає змогу просто отримати оптимальні показники та параметри ІВС, тобто функції обміну оптимальних каналів різних типів вимірювачів та ще в аналітичному вигляді, що розширює діапазон їх використання і скорочує час розробок.

Отримане рішення таке саме для двоїстих задач за показниками з (2) і за вартістю. Перевіримо.

$$\min C(\bar{X})$$

$$\text{при } \frac{P_m}{N_0 \Pi_f} = \prod_{l=1}^n X_l = a_0 = q. \quad (11)$$

Лінеаризуємо цільову функцію задачі (11).

$$\min C(\bar{X}) = \min \sum_{i=1}^n [C_{i0}(X_{i0}) + C'_{i0}(X_{i0})(X_i - X_{i0})].$$

$$\text{при } \prod_{i=1}^n X_{i0} = a_0.$$

Складемо функцію Лагранжа:

$$L = \sum_{i=1}^n [C_{i0}(X_{i0}) + C'_{i0}(X_{i0})(X_i - X_{i0})] + \lambda(a_0 - \prod_{i=1}^n X_{i0}).$$

Візьмемо часткові похідні від функції Лагранжа за всіма змінними:

$$\frac{\partial L}{\partial X_k} = C_{k0}^1 - \lambda \frac{\prod_{l=1}^n X_{l0}}{X_{k0}} = 0.$$

Позначимо $\prod_{l=1}^n X_l = a$, домножимо похідну на параметр до значення a і поділимо на цей параметр. Розв'язанням рівняння для всіх k є:

$$X_k = \frac{\lambda a_0(\bar{X}_0)}{C_k^1(X_{i0})}.$$

Для отримання невизначеного множника підставимо це значення в цільову функцію. Тоді

$$\sum_{k=1}^n C_k^1(\bar{X}_0) \frac{\lambda a_0(\bar{X})}{C_k^1(X_{i0})} = C(\bar{X}_0).$$

Звідси $\lambda = \frac{C(X_0)}{na_0(\bar{X}_0)}$.

$$C_l(X_l) = C_l(X_{l0}) + C_l^1(X_{l0})(X_l - X_{l0}) + C_l^{11}(X_{l0}) \frac{(X_l - X_{l0})^2}{2!} + \dots$$

Якщо будемо вважати, що третій член ряду менше другого за рахунок різниці параметрів у 10 разів, то зрівнявши їх, домноживши третю складову на 10, отримаємо межі зміни результату при точності лінеаризації 10 %:

$$X_l - X_{l0} \leq \frac{C_l^1(X_{l0})}{5C_l^{11}(X_{l0})}.$$

Коректуємо отримані параметри першого етапу: якщо параметр вийшов за межу, то замість беремо ближчу межу, інакше його не змінюємо.

Далі кроки повторюються до потрібної точності. Ітерація закінчується, якщо отриманий параметр на якомусь етапі мало змінюється, наприклад, на 10 % і менше.

Висновки

1. Запропонований метод сепарабельного умовного програмування ефективний для глобального параметричного синтезу ІВС на множині параметрів.

2. Метод дозволяє оптимізацію ІВС за будь-яким умовним критерієм якості з кривий обміну, яка містить показники ІВС та їх параметри.

Далі отримаємо ту саму ітеративну формулу оптимального рішення для двоїстої задачі:

$$X_{k1} = \frac{C(\bar{X}_0)}{nC_k^1(X_{k0})}.$$

Підставляємо оптимальні параметри останнього етапу у вираз для a , який являє собою криву обміну оптимальної інформаційної або вимірювальної системи.

$$a_1(\bar{X}_1) = \prod_{i=1}^n X_{ui1} = \left(\frac{C(\bar{X}_0)}{n} \right)^n \frac{1}{\prod_{i=1}^n C_{i0}^1(X_{i0})}. \quad (12)$$

Тобто функція обміну (12) задач не змінюється. Крім того, оскільки лінійна апроксимація точна в певних межах, оцінюємо ці межі і скоректуємо алгоритм, щоб скоротити час ітерацій.

Розкладемо обмеження за одним параметром з урахуванням другого порядку малості:

3. Подання показників якості ІВС у формі перетворення параметрів дає змогу з єдиних позицій, за єдиних тактико-технічних вимог, оптимізувати системи на множинах параметрів, сигналів та структур.

4. Скоротити час аналізу та розрахунків ІВС дає змогу принцип двоїстості, аналітична та опукла форма функцій.

5. Викладене справедливе для будь-яких вимірюваних параметрів сигналу, а також для обмежень за вартістю, за масою та вагою.

6. Виявлені переваги методу сепарабельного умовного програмування перед методом Вульфа:

1) не треба розв'язувати систему рівнянь з похідними функції Лагранжа;

2) множник Лагранжа знаходимо з обмежень;

3) результат отримаємо в аналітичному вигляді;

4) жоден метод математичного програмування такого аналітичного результату не дає;

5) для кривої обміну, отриманої в аналітичному вигляді, діапазон змін показників необмежений;

6) збіжність процесу ітерації краща, ніж у методі Вульфа, особливо при великій кривизні обмежень;

7) такі задачі скорочують час розроблення систем, цикл обороту капіталу в галузі і повністю задовольняють потребу в оптимізації ІВС та їх ФЕ.

Список використаних джерел

1. Альошин Г. В. Ефективність інформаційно-вимірjuвальних радіотехнічних систем: підручник. Харків: ХУПС, 2005. 294 с.
2. Алешин Г. В., Богданов Ю. А. Эффективность сложных радиотехнических систем: монография. Киев: Наукова думка, 2008. 288 с.
3. Альошин Г. В. Оцінка якості інформаційно-вимірjuвальних систем. Харків: УкрДАЗТ. 2009. 300 с.
4. Альошин Г. В., Панченко С. В., Приходько С. І. Основи систем автоматизованого проектування інформаційно-вимірjuвальних систем. Харків: УкрДАЗТ, 2012. 64 с.
5. Основи наукових досліджень/ Г. В. Альошин, С. В. Лістровий, С. В. Панченко, С. І. Приходько. Харків: УкрДАЗТ, 2012. 340 с.
6. Альошин Г. В., Панченко С. В., Приходько С. І. Проблеми теорії телекомунікаційних систем та мереж. Харків: УкрДУЗТ, 2016. 296 с.
7. Альошин Г. В., Панченко С. В., Приходько С. І. Радіоавтоматика в системах зв'язку. Харків: УкрДУЗТ, 2017. 146 с.
8. Альошин Г. В., Панченко С. В., Приходько С. І. Оптимізація цифрових систем передачі: підручник. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 151 с.
9. Альошин Г. В., Панченко С. В., Приходько С. І. Інноваційні ідеї цифровізації в радіoeлектроніці. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 151с.
10. Гуткин Л. С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. Москва: Сов. радио, 1974. 368 с.
11. Вудворд Ф. М. Теория вероятности и теория информации с применением в радиолокации. Москва: Сов. радио, 1966.

Алешин Г. В., Панченко С. В., Приходько С. И. Эффективность сепарабельного программирования в задачах оптимизации информационно-измерительных систем.

Аннотация. Известно, что информационно-измерительные системы (ИИС) любого назначения существуют на множествах структур, сигналов и технических параметров, которые необходимо получить по единым тактико-техническим требованиям. Однако попытки создать обобщающие методы расчета и оптимизации систем [10] встречаются с комплексом нерешенных проблем, с некорректностью функционала правдоподобия (ФП), неопределенностью теории измерений, нечеткостью множества стоимости и др. [1 – 9].

Не поддерживают упомянутый ФП следующие факты [2, 3]: 1) следящие измерители вообще необязательно используют автокорреляционную функцию сигнала; 2) цифровые измерители также работают по другим принципам; 3) многошкальные

измерители вообще не укладываются в эти теории; 4) повышение точности измерений задержки сигнала зависит от ширины спектра, но это следует не из теории потенциальной точности, а из факта повышения крутизны фронтов сигнала на выходе приемника.

Показан путь выхода из этого тупика и роль общего подхода к задачам оптимизации ИИС с последовательным выяснением факторов: 1) что такое радиоизмерения; 2) как по функции обмена определять показатели качества ИИС; 3) какие пути развития теории измерений и основ оптимизации ИИС; 4) определение лучшего метода их оптимизации.

Ключевые слова: оптимизация информационно-измерительных систем, классификация систем по качеству.

Aloshin G. V., Panchenko S. V., Prihodko S. I. Efficiency of separable programming in the problems of optimization of information-measuring systems.

Abstract. It is known that information-measuring systems (IMS) of any purpose exist on a variety of structures, signals and technical parameters that must be obtained according to uniform tactical and technical requirements. However, attempts to create generalizing methods for calculating and optimizing systems [10] are faced with a complex of unsolved problems, with the incorrectness of the likelihood functional (FP), uncertainty in the theory of measurements, fuzziness of the set of costs and other. [1 - 9].

The following facts do not support the mentioned FP [2, 3]: 1) tracking meters generally do not necessarily use the autocorrelation function of the signal, 2) digital meters also work according to other principles, 3) multiscale meters do not fit into these theories at all, 4) improving the accuracy of delay measurements signal depends on the spectrum width, but this does not follow from the theory of potential accuracy, but from the fact that the steepness of the signal edges at the output of the receiver increases.

The way of getting out of this impasse and the role of the general approach to the problems of IMS optimization with a sequential elucidation of the factors is shown: 1) what is radio measurements, 2) how to determine the IMS quality indicators by the exchange function, 3) what are the ways of development of the theory of measurements and the foundations of IMS optimization, 4) determining the best method for their optimization.

Key words: optimization of information-measuring systems, classification of system quality.

Надійшла 15.01.2021 р.

Альошин Геннадій Васильович, доктор технічних наук, професор кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: aloshin.gennadiy@gmail.com ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-0392-9889>

Панченко Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, ректор Українського державного університету залізничного транспорту, Харків, Україна. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7626-9933> E-mail: info@kart.edu.ua

Приходько Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6535-8351> E-mail: prihodko@kart.edu.ua

Gennadiy Aloshin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Communication of the Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: aloshin.gennadiy@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-0392-9889>

Sergey Panchenko, rector, Doctor of Technical Sciences, professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7626-9933> E-mail: info@kart.edu.ua

Sergey Prihodko, Doctor of Technical Sciences, professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6535-8351> E-mail: prihodko@kart.edu.ua