

О. А. ДАКІ

Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна

МЕТОД ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ЩОДО СИНТЕЗУ ВХІДНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті показано, що застосування сучасних систем і комплексів навігації для управління рухом засобів водного транспорту дозволяє забезпечити безпечне судноплавство. Обґрунтовано, що правильна робота засобів навігаційного забезпечення – радіонавігаційних комплексів – залежить від їх технічного стану. У роботі обґрунтовані та досліджені математичні вирази щодо розрахунку параметрів вхідних вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів. Наведені результати аналізу методів визначення технічного стану радіоелектронних засобів, в основу яких покладені дослідження їх динамічних характеристик. Показано, що для збільшення коефіцієнту перешкодостійкості радіонавігаційних комплексів застосовують інерційні блоки (елементи), що підвищує час на проведення контролю гармонійним сигналом типу синуса або косинуса. Уникнути цього недоліку можливо при використанні тестових сигналів з нормованим спектром, що представляють собою суму певної кількості корисних гармонік – тестових сигналів складної форми. Метою статті є розробка методу динамічного програмування щодо синтезу вхідного вимірювального сигналу для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту. Отримане рекурентне співвідношення пропонується використовувати для визначення характеристик вимірювального сигналу в тому випадку, коли проводиться безперервний контроль вихідного сигналу. Для цього потрібно замінити інтеграл у виразі для критерію синтезу відповідною інтегральною сумою. Метод динамічного програмування при використанні персональних комп'ютерів, порівняно з іншими методами, володіє перевагою, оскільки дозволяє використовувати при розрахунках циклічну програму. Однак, хоча в методі динамічного програмування на кожному етапі необхідно розраховувати та запам'ятовувати тільки одну функцію, при значній кількості «координат» (при значній кількості параметрів контролю та достатньо складної систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден) об'єм розрахунків може бути дуже великим.

Ключові слова: радіонавігаційний комплекс; засоби водного транспорту; параметри контролю; вимірювальний сигнал; синтез; динамічне програмування.

Вступ

Застосування сучасних систем і комплексів навігації для управління рухом засобів водного транспорту та авіації дозволило забезпечити безпечне судноплавство та польоти у визначених коридорах [1-7]. Глобальні навігаційні супутникові системи, перспективні радіонавігаційні комплекси при роботі в спеціальних режимах призначені для точного визначення поточного місця судна або літака за будь-яких погодних умов плавання чи польоту [8, 9]. Навігаційне забезпечення засобів водного транспорту та авіації призначено для оперативного вирішення завдань управління рухомими об'єктами на новому якісному рівні. При цьому правильна робота засобів навігаційного забезпечення – радіонавігаційних комплексів – залежить від їх технічного стану. Але особливості експлуатації радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту порівняно з авіаці-

єю виводять операції контролю технічного стану на новий, більш вимогливий рівень. Наявність у складі радіонавігаційних комплексів великої кількості електронних елементів і радіоканалів й агресивне середовище їх експлуатації (велика вологість, постійний рух (качання), солоня вода тощо) підвищують роль методів і приладів контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів під час експлуатації для забезпечення безаварійного функціонування засобів водного транспорту [4, 9].

Формулювання проблеми

Традиційним для вимірювання частотних характеристик радіонавігаційних комплексів є застосування генераторів синусоїдних коливань [10-15]. Проте такий підхід потребує значної трудомісткості вимірювань і знижує оперативність обслуговування через необхідність послідовно задавати на генерато-

рі контрольні частоти. Крім того, для збільшення коефіцієнту перешкодостійкості радіонавігаційних комплексів застосовують інерційні блоки (елементи), що підвищує час на проведення контролю. Уникнути цього недоліку можливо при використанні тестових сигналів з нормованим спектром, що представляють собою суму певної кількості корисних гармонік – тестових сигналів складної форми [16].

Тому існує задача розробки методів синтезу тестових сигналів для визначення технічного стану радіонавігаційних комплексів з оптимальними характеристиками, що у цілому забезпечить підвищення ефективності обслуговування та ідентифікації відмов [8, 15-17].

Метою даної роботи є розробка методу динамічного програмування щодо синтезу вхідного вимірювального сигналу для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту.

Метод динамічного програмування для розв'язання задачі синтезу вхідного вимірювального сигналу

Метод динамічного програмування [8] досить часто застосовується у задачах про визначення впливу перешкод на організацію оптимального управління. У математичній постановці задачі визначення оптимального управління полягає в знаходженні такої функції $u(t)$ у класі допустимих функцій, для яких деякий функціонал $\Psi = \int_0^T \psi(x_\alpha, u, t) dt$

має мінімальне значення. «Координати» x_α зв'язані з сигналом управління $u(t)$ системою диференціальних рівнянь $\dot{x} = \varphi(x_\beta, u, t)$.

Особливо ефективними ці методи є тоді, коли на сигнал управління $u(t)$ накладені обмеження, наприклад, $|u(t)| \leq U$.

Метод динамічного програмування можуть бути використані для синтезу вимірювального сигналу. При цьому показник якості синтезованого сигналу величина Ψ є чутливістю

Метод динамічного програмування можуть бути використані для синтезу вимірювального сигналу. При цьому показник якості синтезованого сигналу величина Ψ є чутливістю

$$\Psi = S = \int_0^T \sum_{i=1}^m b_i^2(t, \{u\}) dt, \quad (1)$$

де $b_i(t, \{u\})$ – коефіцієнти чутливості за параметрами z_i радіонавігаційних комплексів при вхідному сигналі $u(t)$.

Замість мінімуму функціоналу Ψ необхідно знайти максимум функціоналу S . Ця відмінність не є

принциповою. Замість величини $\psi(x_\alpha, u, t)$ необхідно використовувати величину $\sum_{i=1}^m b_i^2(t, \{u\})$. Це є

більш суттєвим, оскільки $\psi(x_\alpha, u, t)$ є функцією від сигналу $u(t)$ (функція $\psi(x_\alpha, u, t)$ у момент часу t залежить тільки від функції $u(t)$ у той же час), а

$\sum_{i=1}^m b_i^2(t, \{u\})$ є функціоналом від функції $u(t)$, тому

що значення $\sum_{i=1}^m b_i^2(t, \{u\})$ в даний момент часу t за-

лежить від значень сигналу $u(t)$ у попередні моменти часу $\tau < t$. Цю відмінність можливо усунути,

якщо прийняти змінні b_i за нові. Тоді зв'язок змінних b_i з величиною вхідного сигналу буде описуватися системою диференціальних рівнянь першого порядку. У цій системі рівнянь змінні b_i співпадають з m останніми величинами ζ_γ , так що величину S

запишемо так:

запишемо так:

$$S = \int_{\gamma=r-m+1}^r \sum_{i=1}^2 \zeta_\gamma^2 dt.$$

Для застосування методу складемо «гамільтоніан» H :

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{\gamma=r-m+1}^r \zeta_\gamma^2 + \sum_{\gamma=1}^r \mu_\gamma \varphi_\gamma. \quad (2)$$

Величини ζ_γ і μ_γ є узагальненими «координатами» і «імпульсами» й визначаються з системи рівнянь, аналогічній канонічній системі Гамільтона

$$\dot{\zeta}_\gamma = -\partial H / \partial \mu_\gamma; \quad (3)$$

$$\dot{\mu}_\gamma = -\partial H / \partial \zeta_\gamma. \quad (4)$$

Граничні умови мають вигляд

$$\zeta_\gamma(0) = 0; \quad \mu_\gamma(T) = 0. \quad (5)$$

Сигнал $u(t)$ у кожен момент часу повинен визначатися залежно від величин ζ_γ з умови мінімуму «гамільтоніана» H (для даного випадку «принцип максимуму» переходить у «принцип мінімуму»):

$$H(\zeta_\gamma, u, t) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Підставивши у рівняння (3), (4) співвідношення (2), отримаємо, що функція $u(t)$, яка визначається з рівняння (6) знаходиться всередині допустимої області $|u(t)| \leq U_{\max}$, то вона може бути знайдена з умови:

$$\partial H / \partial u = 0. \quad (7)$$

Метод динамічного програмування дозволяє отримати розв'язок у випадку, коли сигнал $u(t)$ знаходиться на границі допустимої області $|u(t)| \leq U_{\max}$, тобто $|u(t)| = U_{\max}$. У цьому випадку функція $u(t)$ (залежно від ζ_γ) повинна визначатися не з рівняння (7), а безпосередньо з (6).

Розглянемо приклад контролю постійної часу T_0 аперіодичного ланцюга при умові, що вхідний сигнал обмежений за модулем: $|u(t)| \leq U_{\max}$. Передатна функція ланцюга дорівнює $\frac{k}{T_0 p + 1}$. Тому вхідний сигнал $x(t)$ зв'язаний з вхідним вимірювальним сигналом співвідношенням:

$$\dot{x} = [k \cdot u - x] / T_0. \quad (8)$$

Величина $b(t)$ при цьому дорівнює:

$$b(t) = \partial x(t) / \partial T_0. \quad (9)$$

Для того, щоб розрахувати рівняння для величини $b(t)$ необхідно продиференціювати співвідношення (8) за T_0 . Тоді отримаємо

$$\dot{b} = -\frac{1}{T_0^2} [k \cdot u - x] - \frac{b}{T_0}. \quad (10)$$

За результатами порівняння рівнянь (8), (9) запишемо:

$$\zeta_1 = x; \quad \zeta_2 = b; \quad \varphi_1 = \frac{1}{T_0} [k \cdot u - \zeta_1];$$

$$\varphi_2 = -\frac{1}{T_0^2} [k \cdot u - \zeta_1] - \frac{\zeta_2}{T_0}.$$

Складемо «гамільтоніан» H згідно (2):

$$H = -\frac{1}{2} \zeta_2^2 + \mu_1 \frac{k \cdot u - \zeta_1}{T_0} - \mu_2 \left[\frac{k \cdot u - \zeta_1}{T_0^2} + \frac{\zeta_2}{T_0} \right]. \quad (11)$$

Відповідно до (6), потрібно визначити сигнал $u(t)$, для якого «гамільтоніан» H має мінімальне значення. Оскільки значення обмежене умовою $|u(t)| \leq U$, то мінімальне значення «гамільтоніана» H є при $u(t)$:

$$u(t) = U \operatorname{sign} \left[\frac{k}{T_0^2} \mu_2 - \frac{k}{T_0} \mu_1 \right] = U \operatorname{sign}(\mu_2 - T_0 \mu_1). \quad (12)$$

Рівняння (4) для величин μ_1 і μ_2 приймають вигляд:

$$\dot{\mu}_1 = \frac{\partial H}{\partial \zeta_1} = \frac{1}{T_0} \mu_1 - \frac{1}{T_0^2} \mu_2; \quad (13)$$

$$\dot{\mu}_2 = -\frac{\partial H}{\partial \zeta_2} = \zeta_2 + \frac{1}{T_0} \mu_2 = b + \frac{1}{T_0} \mu_2. \quad (14)$$

Рівняння (8), (10), (12) – (14) складають систему рівнянь для визначення вхідного вимірювального сигналу $u(t)$. Для граничних умов, відповідно до (5), запишемо

$$x(0) = b(0) = 0; \quad \mu_1(T) = \mu_2(T) = 0. \quad (15)$$

У розглянутому прикладі, як видно з (11), вимірювальний сигнал $u_{\text{опт}}(t)$ є кусково-постійною функцією, яка дорівнює $\pm U$, з розривами в «точках перемикавання». Рівняння (8), (10), (13), (14) визначають моменти «перемикавання», тобто точки, в яких величина $\mu_2(t) - T_0 \mu_1(t)$ змінює знак. Отримана система рівнянь (8), (10), (12) – (14) з граничними умовами (15) має при $T > T_0$ декілька розв'язків, які розрізняються кількістю та положенням «точок перемикавання». Тому для повного розв'язання задачі знаходження вимірювального сигналу $u_{\text{опт}}(t)$ необхідно знайти усі розв'язки зазначеної системи рівнянь і вибрати той розв'язок, для якого функціонал S приймає максимальне значення.

При використанні ПК для визначення вимірювального сигналу більш простим (порівняно з методом, який використовує «принцип максимуму») є метод динамічного програмування. Метод динамічного програмування є узагальненням метода Гамільтона-Якобі [8] для випадку, коли функція $u(t)$ не є безперервною. У методі динамічного програмування послідовно, починаючи з кінця інтервалу, тобто з точки $t = T$, оптимізується величина

$$C(t) = \int_t^T \psi(x_\alpha, u, t) dt.$$

При цьому отримаємо рівняння:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \min_{\{u\}} H. \quad (16)$$

Рівняння (16) є аналогом рівняння Гамільтона-Якобі: $\partial \dot{C} / \partial t = -H$. Функція C зв'язана з класичною дією $\dot{C}: C = -\dot{C} + \text{const}$, величина $\Psi(x_\alpha, u, t)$ відіграє роль функції Лагранжа, а величина μ_γ – роль «імпульсів».

Замість величин μ_γ , які входять у вираз для H , потрібно підставити $\mu_\gamma = -\partial C / \partial \zeta_\gamma$.

Початкова умова має вигляд: $C(T) = 0$. У розглянутому випадку величина $C(t)$ дорівнює:

$$C(t) = \frac{1}{2} \int_t^T \sum_{\gamma=r-m+1}^r \zeta_\gamma^2 dt.$$

Рівняння (16) запишемо:

$$\frac{\partial C(t)}{\partial t} = -\frac{1}{2} \sum_{\gamma=r-m+1}^r \zeta_\gamma^2 - \max_{\{u\}} \sum_{\gamma=1}^r \frac{\partial C(t)}{\partial \zeta_\gamma} \varphi_\gamma(\zeta_\gamma, u, t), \quad (17)$$

де $C(\zeta_\gamma, T) = 0$ – початкова умова.

У випадку дискретних вимірювань вихідного сигналу в моменти часу t_1, t_2, \dots, t_s метод динамічного програмування є простим для застосування в ПК. При цьому рівняння (17) перетворюється в рекурентне співвідношення:

$$C(t_{s-k})[\zeta_\gamma(s-k)] = \frac{1}{2} \sum_{\gamma=r-m+1}^r \zeta_\gamma^2(s-k) \Delta t + \sup_{\{u(s-k)\}} C(t_{s-k+1}) \times \left\{ \zeta_\gamma(s-k) + \Delta t \varphi_\gamma[\zeta_\gamma(s-k), u(s-k)] \right\}.$$

Це рівняння дозволяє послідовно знаходити вимірювальний сигнал у момент часу t_{s-k} залежно від значень «координат» $\zeta_\gamma(s-k)$ у цей же час:

$$u_{\text{опт}}(s-k) = u_{\text{опт}}[\zeta_\gamma(s-k)]. \quad (18)$$

Величини $\zeta_\gamma(s-k)$ можуть бути після цього визначені з системи різницьових рівнянь

$$\zeta_\gamma(s-k+1) = \zeta_\gamma(s-k) + \Delta t \varphi_\gamma[\zeta_\gamma(s-k), u_{\text{опт}}(\zeta_\gamma(s-k))] \quad (19)$$

з початковою умовою (5).

Розв'язавши рівняння (19) і підставивши розв'язок у формулу (18), визначимо залежність вхідного вимірювального сигналу $u_{\text{опт}}(t)$ від часу.

Перспективи застосування

Рекурентне співвідношення (18) може бути використане для визначення характеристик вимірювального сигналу в тому випадку, коли проводиться безперервний контроль вихідного сигналу. Для цього потрібно замінити інтеграл у виразі для S відповідною інтегральною сумою. Метод динамічного програмування при використанні ПК, порівняно з іншими методами, володіє перевагою, оскільки дозволяє використовувати при розрахунках циклічну програму. Однак, хоча в методі динамічного програмування на кожному етапі необхідно розраховувати та запам'ятовувати тільки одну функцію $u_{\text{опт}}(\zeta_\gamma)$, при значній кількості «координат» ζ_γ (при значній кількості параметрів контролю та достатньо складної систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден) об'єм розрахунків може бути дуже великим.

Метод динамічного програмування характеризується можливою неоднозначністю розв'язання. У даному випадку необхідно не пропустити момент розгалуження розв'язань. Якщо рівняння (18) було б точним, то в точці розгалуження максимальне значення другого доданку в правій частині рівняння (18) досягалося б одночасно для двох різних значень величини $u(s-k)$. Через дискретний характер рівняння (18) ці два значення величини $u(s-k)$ можуть привести до близьких, але різних за величиною значенням C_{s-k+1} . Тоді те значення, яке приводить до мінімального значення, буде невірною відкинуте. Тому на кожному етапі потрібно зберігати не тільки те значення $u(s-k)$, для якого величина C_{s-k+1} максимальна, але й те, для якого ця величина незначним чином відрізняється від максимального значення, у той час як самі величини $u(s-k)$ відрізняються сильно. Після отримання всієї множини можливих розв'язків потрібно з них вибрати той, для якого величина S , тобто величина $C_0[\zeta_\gamma(0)] = C_0(0)$ максимальна.

Оскільки в методах динамічного програмування вимірювальний сигнал $u_{\text{опт}}(t)$ розраховується (залежно від «координат») для кожного даного мо-

менту часу, то для ефективного застосування цих методів можливі обмеження на сигнал $u(t)$ повинні задаватися для кожного моменту часу, тобто мати локальний характер. Можливі випадки, коли такого роду обмеження накладається не на вхідний сигнал $u(t)$, а на сигнал $x_i(t)$ на деякому елементі (блоці) систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден. Якщо обмеження накладаються одночасно на вимірювальний сигнал $u(t)$ і сигнали на елементах $x_i(t)$ або на декілька сигналів $x_i(t)$ на різних елементах (блоках) систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден, то для визначення вхідного вимірювального сигналу необхідно розв'язати задачу з обмеженими «фазовими координатами».

Висновки

Розроблений метод динамічного програмування щодо синтезу вхідного вимірювального сигналу для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту. Такий метод пропонується використовувати при обґрунтуванні характеристик вимірювальних сигналів контролю радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту при експлуатації.

Література

1. К вопросу построения автоматизированной системы мониторинга параметров высокоточного навигационного поля [Текст] / В. В. Каретников, И. В. Пащенко, А. И. Соколов, И. Г. Кузнецов // Морская радиоэлектроника. – 2015. – № 2 (52). – С. 24 – 27.
2. Соловьев, И. Морская радиоэлектроника [Текст] / И. Соловьев. – Санкт-Петербург : Политехника, 2003. – 185 с.
3. Rogers, R. M. Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems [Text] / R. M. Rogers // AIAA Educational Series, American Institute of Aeronautics and Astronautics. – Reston, 2003. – 152 p.
4. Grewal, M. S. Global Positioning Systems [Text] / M. S. Grewal, L. R. Weill, A. P. Andrews // Inertial navigation and integration Wiley. – New York, 2007. – 235 p.
5. Алешин, Б. С. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии [Текст] / Б. С. Алешин, К. К. Веремченко. – М. : Наука, 2006. – 424 с.
6. Characteristics of radiolocation scattering of the SU-25T attack aircraft model at different wavelength ranges [Text] / S. Herasimov, Y. Belevshchuk, I. Ryapolov, O. Tymochko, M. Pavlenko, O. Dmitriiev, M. Zhyvytskyi, N. Goncharenko // Information and controlling systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 6, No. 9 (96). – P. 22-29. – DOI: 10.15587/1729-4061.2018.152740.
7. Herasimov, S. Synthesis method of the optimum structure of the procedure for the control of the technical status of complex systems and complexes [Text] / S. Herasimov, O. Tymochko, S. Khmelevskiy // 36. наук. пр. Харківського національного університету Повітряних Сил. – Х. : ХНУПС. – 2017. – Вип. 4 (53). – С. 148-152.
8. Clarke, F. Functional analysis, Calculus of Variations and Optimal Control [Text] / F. Clarke. – New York : Springer, 2013. – 606 p.
9. Герасимов, С. В. Розробка та дослідження методу розрахунку достовірності вимірювального контролю параметрів радіотехнічних систем морського транспорту [Текст] / С. В. Герасимов, Ю. С. Шапран, В. В. Кірвас // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 4 (52). – С. 5 – 10.
10. Басов, В. Г. Измерительные сигналы и функциональные устройства их обработки [Текст] / В. Г. Басов. – Минск : БГУИР, 2013. – 119 с.
11. Friedman, N. The Naval Institute Guide to World Naval Weapon System [Text] / N. Friedman. – Naval Institute Press, 2006. – 858 p.
12. Rybin, Yu. Measuring Signal Generators. Theory and Design [Text] / Yu. Rybin. – Dordrecht, London, New York : Springer, 2014. – 488 p.
13. Герасимов, С. В. Measures of efficiency of dimensional control under technical state designation of radio-technical facilities [Text] / С. Герасимов, Ю. Шапран, М. Стахова // Системи обробки інформації. – 2018. – Вип. 1 (152). – С. 148 – 154. DOI: 10.30748/soi.2018.152.21.
14. Qr Griffiths, B. E. Optimal control of jump-linear gaussian systems [Text] / B. E. Qr Griffiths, K. A. Loparo // Int. J. of control. – 1985. – Vol. 42, No. 4. – P. 791-819.
15. Герасимов, С. В. Методика обґрунтування номенклатури параметрів контролю радіотехнічних систем і призначення їх допустимих відхилень [Текст] / С. В. Герасимов, В. В. Грідіна // Системи обробки інформації. – 2018. – Вип. 2 (153). – С. 159-164. DOI: 10.30748/soi.2018.153.20.
16. Чинков, В. М. Методика синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану зразків озброєння при локальному обмеженні [Текст] / В. М. Чинков, С. В. Герасимов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – Вип. 1 (14). – С. 194 – 197.
17. Testing Signals for Electronics: Criteria for Synthesis [Text] / S. Herasimov, V. Pavlii, O. Tymoshchuk, M. Yu. Yakovlev, D. Ye. Khaustov,

Ye. Ryzhov, L. Sakovych, Yu. A. Nastishin // *Journal of Electronic Testing*. – 2019. – Vol. 35, Iss. 148. – P. 1–9. DOI: 10.1007/s10836-019-05798-9.

References

1. Karetnikov, V. V., Pashchenko, I. V., Sokolov, A. I., Kuznetsov, I. G. K voprosu postroyeniya avtomatizirovannoy sistemy monitoringa parametrov vysokotochnogo navigatsionnogo polya [To the question of constructing an automated system for monitoring the parameters of a high-accuracy navigation field]. *Marine Radio Electronics*, 2015, no. 2 (52), pp. 24-27.
2. Solov'ev, I. *Morskaya radioelektronika* [Marine Radio Electronics]. Sankt-Peterburg, "Politehnika" Publ., 2003, 185 p.
3. Rogers, R. M. *Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems*. AIAA Educational Series. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, 2003. 152 p.
4. Grewal, M. S., Weill, L. R., Andrews, A. P. *Global Positioning Systems*, Inertial navigation and integration. New York, 2007. 235 p.
5. Aleshin, B. S., Veremeenko, K. K. *Oriyentatsiya i navigatsiya podvizhnykh ob'yektov: sovremennyye informatsionnyye tekhnologii* [Orientation and navigation of mobile objects: modern information technologies]. Moscow, "Science" Publ., 2006. 424 p.
6. Herasimov, S., Belevshchuk, Y., Ryapolov, I., Tymochko, O., Pavlenko, M., Dmitriyev, O., Zhyvytskyi, M., Goncharenko, N. Characteristics of radiolocation scattering of the SU-25T attack aircraft model at different wavelength ranges. *Information and controlling systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, vol. 6, no. 9 (96), pp. 22-29. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.152740.
7. Herasimov, S., Tymochko, O., Khmelevskiy, S. Synthesis method of the optimum structure of the procedure for the control of the technical status of complex systems and complexes. *Scientific works of Kharkiv National University of Air Forces*, 2017, no. 4 (53), pp. 148-152.
8. Clarke, F. *Functional analysis, Calculus of Variations and Optimal Control*. New York, Springer Publ., 2013. 606 p.
9. Herasimov, S., Shapran, Yu., Kirvas, V. Development and research of the method of calculating the reliability of the measurement control parameters of radio engineering systems of maritime transport. *Systems of Arms and Military Equipment*, 2017, no. 4 (52), pp. 5-10.
10. Basov, V. G. *Izmeritel'nye signaly I funktsional'nye ustroystva ix obrabotki* [Measuring calls and functional units of their treatment]. BGUIR, Minsk, 2013. 119 p.
11. Friedman, Norman. *The Naval Institute Guide to World Naval Weapon System*. Naval Institute Press, 2006. 858 p.
12. Rybin, Yu. *Measuring Signal Generators. Theory and Design*. Dordrecht, London, New York, Springer, 2014. 488 p.
13. Herasimov, S., Shapran, Yu., Stakhova, M. Measures of efficiency of dimensional control under technical state designation of radio-technical facilities. *Information processing systems*, 2018, no. 1 (152), pp. 148-154. DOI: 10.30748/soi.2018.152.21.
14. Qr Griffiths, B. E., Loparo K. A. Optimal control of jump-linear gaussian systems. *Int. J. of control*, 1985, vol. 42, no. 4, pp. 791-819.
15. Herasimov, S., Gridina, V. Method justification nomenclature control parameters of radio systems and purpose of their permissible deviations. *Information processing systems*, 2018, no. 2 (153), pp. 159-164. DOI: 10.30748/soi.2018.153.20.
16. Chinkov, V. N., Herasimov, S. V., Metodika sintezy vimiryuval'ny signaliv dlya kontrolyu texnichnogo stany zrazkiv ozbroennya pri local'nomy obmezenni [The method of synthesis of measuring signals is for control of the technical state of standards of armament at local limitation]. *Science and Techology of the Air Force of Ukraine*, 2013, no. 1 (14), pp. 194-197.
17. Herasimov, S., Pavlii, V., Tymoshchuk, O., Yakovlev, M. Yu., Khaustov, D. Ye., Ryzhov, Ye., Sakovych, L., Nastishin, Yu. A. Testing Signals for Electronics: Criteria for Synthesis. *Journal of Electronic Testing*, 2019, vol. 35, iss. 148, pp. 1-9. DOI: 10.1007/s10836-019-05798-9.

Поступила в редакцию 10.05.2019, рассмотрена на редколлегии 12.06.2019

МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ СИНТЕЗЕ ВХОДНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Е. Даки

В статье показано, что применение современных систем и комплексов навигации для управления движением средств водного транспорта позволяет обеспечить безопасное судоходство. Обосновано, что правильная работа средств навигационного обеспечения – радионавигационных комплексов – зависит от их

технического состояния. В работе обоснованы и исследованы математические выражения по расчету параметров входных измерительных сигналов для контроля технического состояния радионавигационных комплексов. Приведены результаты анализа методов определения технического состояния радиоэлектронных средств, в основу которых положены исследования их динамических характеристик. Показано, что для увеличения коэффициента помехоустойчивости радионавигационных комплексов применяют инерционные блоки (элементы), что повышает время на проведение контроля гармоническим сигналом типа синуса или косинуса. Избежать этого недостатка возможно при использовании тестовых сигналов с нормированным спектром, представляющих собой сумму определенного количества полезных гармоник – тестовых сигналов сложной формы. Целью статьи является разработка метода динамического программирования по синтезу входного измерительного сигнала для контроля состояния радионавигационных комплексов средств водного транспорта. Полученное рекуррентное соотношение может быть использовано для определения характеристик измерительного сигнала в том случае, когда проводится непрерывный контроль выходного сигнала. Для этого нужно заменить интеграл в выражении для критерия синтеза соответствующей интегральной суммой. Метод динамического программирования при использовании персональных компьютеров по сравнению с другими методами, обладает преимуществом, поскольку позволяет использовать при расчетах циклическую программу. Однако, хотя в методе динамического программирования на каждом этапе необходимо рассчитывать и запоминать только одну функцию, при значительном количестве «координат» (при значительном количестве параметров контроля и достаточно сложной систем и комплексов навигации и управления движением морских судов) объем расчетов может быть очень большим.

Ключевые слова: радионавигационный комплекс; средства водного транспорта; параметры контроля; измерительный сигнал; синтез; динамическое программирование.

DYNAMIC PROGRAMMING METHOD FOR SYNTHESIS INPUT MEASURING SIGNAL FOR CONTROL OF TECHNICAL STATUS OF RADIO AVAILABILITY COMPLEXES

O. Daki

The article shows that the use of modern navigation systems and complexes for controlling the movement of means of water transport makes it possible to ensure safe navigation. It is substantiated that the proper functioning of the means of navigation support – radio navigation complexes – depends on their technical condition. The work substantiates and investigates mathematical expressions for calculating the parameters of input measuring signals for controlling the technical state of radio navigation complexes. The results of the analysis of methods for determining the technical state of radio electronic devices are presented, based on studies of their dynamic characteristics. It has been shown that inertial units (elements) are used to increase the noise immunity coefficient of radio navigation complexes, which increases the time to control the harmonic signal of a sinus or cosine type. It is possible to avoid this disadvantage by using test signals with a normalized spectrum, representing the sum of a certain number of useful harmonics – test signals of complex form. The purpose of the article is to develop a method of dynamic programming for the synthesis of the input measurement signal for monitoring the state of the radio navigation complexes of the means of water transport. The obtained recurrence ratio can be used to determine the characteristics of a measuring signal in the case of continuous monitoring of the output signal. To do this, you need to replace the integral in the expression for the synthesis criterion with the corresponding integral sum. The method of dynamic programming when using personal computers in comparison with other methods has the advantage since it allows you to use a cyclic program in calculations. However, although in the dynamic programming method at each stage it is necessary to calculate and memorize only one function, with a considerable amount of coordinates (with a significant amount of control parameters and rather complex systems and complexes of navigation and traffic control of sea vessels), the volume of calculations can be very large.

Keywords: radio navigation complex; means of water transport; control parameters; measuring signal; synthesis; dynamic programming.

Дакі Олена Анатоліївна – канд. філол. наук, доцент, декан Дунайського факультету морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, Ізмаїл, Україна.

Daki Olena – PhD (Philological), Associate Professor, Dean of the Danube Faculty of Marine and River Transport, State University of Infrastructure and Technology, Izmail, Ukraine, e-mail: olena_daki@ukr.net, ORCID Aurthor ID: 0000-0003-3932-462X.