

УДК 656.61.052

Д. Ю. Падакін

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ БЕРЕГОВОГО НАВІГАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Вступ

Плавання суден у стиснених в навігаційному відношенні районах є складним через наявність там навігаційних небезпек та інтенсивного судноплавства. Згідно з наявною статистикою близько 70% аварій суден, включаючи посадження на мілину й зіткнення, пов'язані зі стисненими водами, що спонукає до необхідності удосконалення методів судноводіння в таких районах.

Заходи, спрямовані на покращення чи вдосконалення методів судноводіння у складних для плавання районах, є складовою збереження людського життя на морі, попередження екологічних катастроф і зменшення економічних витрат, можливих в результаті аварій.

Тому подальше удосконалення безпеки судноводіння й необхідність розробки загального підходу до вибору засобів навігаційного обладнання у стиснених водах є актуальним питанням.

Сучасні методи навігації та навігаційні засоби викладені в [1]. Питання розробки оптимальних локальних систем навігаційного обладнання стиснених районів розглянуті в [2, 3]. Проблемі розробки радіолокаційних систем оберненого типу й оцінки їх точності присвячені роботи [4, 5]. Оснащення стиснених вод локальною системою, що використовує кореляційні принципи навігації, розглянуто в [6].

Постановка задачі

У контексті розглянутої проблеми засобами навігаційного обладнання є системи, які дозволяють одержати сукупність ліній положення або координати судна і проконтролювати місце положення судна. Сучасні засоби навігаційного обладнання поділяються на системи прямого й оберненого типу. Системи прямого типу – це низка природних і штучних навігаційних орієнтирів, завдяки яким можна здійснити вимірювання навігаційних параметрів із судна і судновими засобами визначити його обсервоване місце. Системами прямого типу є також і спеціально організовані локальні системи, наприклад, такі як кореляційні радіолокаційні системи [6].

Радіонавігаційні локальні системи оберненого типу автономно вимірюють високоточні координати судна і передають їх на судно. Як показано в роботах [4, 5], багатопозиційна радіолокаційна система оберненого типу забезпечує точність визначення місця судна, порівнювану з точністю навігаційних супутникових систем.

Якщо точність плавання судна по заданому маршруту нижча за чинні нормативні вимоги, то виникає необхідність підвищити її шляхом встановлення системи навігаційного обладнання, тобто визначити її тип і структуру, які забезпечують необхідну точність плавання.

Розглянемо метод оптимізації навігаційного обладнання у стиснених водах з метою забезпечення необхідної точності плавання суден.

Синтез системи навігаційного обладнання

Для вирішення сформульованої задачі необхідно розглянути наявні системи прямого й оберненого типу, кожна з яких належить до одного з трьох класів: стандартні системи, доповнені штучними навігаційними орієнтирами, кореляційні радіолокаційні системи й багатопозиційні радіолокаційні системи оберненого типу. По кожному з перерахованих класів слід скласти оптимізаційну задачу з критерієм вартісних затрат системи з урахуванням її монтування й експлуатації. В усіх трьох класах основним обмежувачем є показник точності контролю місця судна на заданому маршруті, який не повинен бути нижчим необхідного нормативного показника точності.

Інакше кажучи, це задача синтезу системи навігаційного обладнання мінімальної вартості, яка повинна забезпечити задану точність контролю місця судна в локальному районі Q_r з необхідним рівнем надійності отримання високоточної інформації. Альтернативами є багато можливих структур Mn_R системи.

Оптимізаційна задача має таке аналітичне вираження:

$$C_o = \min C(G_{so}), \quad D_r \leq \bar{D}_r, \\ \min P \geq \hat{P}, \quad G_{so} \in Mn_R,$$

де C і C_o – відповідно вартість і мінімальна вартість системи, що розглядається;

G_{so} – оптимальна структура системи;

D_r – показник точності довільної точки (X, Y) району Q_r ;

\bar{D}_r – задане значення показника точності;

P і \hat{P} – вірогідність отримання високоточної інформації і її потрібне значення відповідно.

Як показник точності обрано дисперсію модуля векторіальної похибки обсервованого місця судна D_r , яка є сумою дисперсій його складових D_x і D_y , тобто $D_r = D_x + D_y$.

В роботі [5] показано, що при нормальному законі розподілу ймовірностей похибок ξ навігаційних параметрів, коли щільність розподілу має вигляд $f(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\{-\frac{\xi^2}{2\sigma_i^2}\}$, показник точності буде

мати такий вигляд

$$D_r = \frac{1}{\Delta_r} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2,$$

де n – число ліній положення;

σ_i – середньоквадратичне відхилення похибки ξ_i ;

$$\Delta_r = \left[\left(\sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \right)^2 \right];$$

α_i – напрямок градієнта i -ї лінії положення.

При переміщенні по заданому маршруту для контролю місця судна візуальними способами практично може бути використано не більше як три орієнтири. За допомогою одного орієнтира обсервоване місце судна може бути отримане за пеленгом і дистанцією орієнтира, а за наявності двох і трьох орієнтирів для контролю місця судна може бути використано не більше як три лінії положення. При використанні двох ліній положення вираз для Δ_r набуває вигляду:

$$\Delta_r = (\cos^2 \alpha_1 + \cos^2 \alpha_2)(\sin^2 \alpha_1 + \sin^2 \alpha_2) = \sin^2(\alpha_1 - \alpha_2) = \sin^2 \beta_{12},$$

а показник точності, отриманий за двома лініями положення, має вигляд:

$$D_r = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{\sin^2 \beta_{12}}. \quad (1)$$

При визначенні місця судна за трьома лініями положення величина Δ_r виражається як:

$$\Delta_r = (\cos^2 \alpha_1 + \cos^2 \alpha_2 + \cos^2 \alpha_3)(\sin^2 \alpha_1 + \sin^2 \alpha_2 + \sin^2 \alpha_3) - (\sin \alpha_1 \cos \alpha_1 + \sin \alpha_2 \cos \alpha_2 + \sin \alpha_3 \cos \alpha_3)^2,$$

або

$$\Delta_r = \sin^2 \beta_{12} + \sin^2 \beta_{13} + \sin^2 \beta_{23},$$

де β_{ij} – кути між градієнтами відповідних ліній положення.

У цьому випадку показник точності виражається як:

$$D_r = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2}{\sin^2\beta_{12} + \sin^2\beta_{13} + \sin^2\beta_{23}}. \quad (2)$$

Ось чому, маючи оцінку точності контролю місця судна, коли системи навігаційного обладнання належать до першого класу, тобто є природними або штучними орієнтирами, значення показника точності розраховується за допомогою формул (1) або (2) (залежно від числа та типу ліній положення).

Якщо маршрут судна знаходиться в районі плавання, який можна обладнати локальною оберненою радіолокаційною системою або локальною системою з використанням кореляційних принципів навігації, то показник точності, як показано в роботах [6, 7], набуває вигляду:

$$D_r = \frac{\sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{\sigma_{Dj}^2} + \frac{1}{\sigma_{Pj}^2} \right)}{\frac{1}{2} \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[\left(\frac{1}{\sigma_{Di}^2} + \frac{1}{\sigma_{Dj}^2} \right) \frac{1}{\sigma_{Pi}^2 \sigma_{Pj}^2} \sin^2\beta_{ij} + \left(\frac{1}{\sigma_{Di}^2} + \frac{1}{\sigma_{Pj}^2} \right) \frac{1}{\sigma_{Pi}^2 \sigma_{Dj}^2} \cos^2\beta_{ij} \right] \right\}}, \quad (3)$$

де N – число РЛС у випадку оберненої радіолокаційної системи або число обраних для обсервації реперних знаків при використанні кореляційних систем;

σ_{Di}^2 і σ_{Pi}^2 – дисперсії похибок ліній положення, отримані при вимірюванні i -ї дистанції та i -го пеленга відповідно.

В оптимізаційній задачі, крім специфічних технічних обмежень (наприклад, таких як дальність дії, надійність і т.д.) для всіх трьох класів систем навігаційного обладнання існує обмеження відносно розміщення засобів системи, враховуючи район їх можливого встановлення.

Формалізація вищезгаданого обмеження має значні труднощі, так як для кожного локального розміщення засобів систем навігаційного обладнання необхідно формувати базу даних опису області, у якій можна розмістити засоби. До того ж, така область може являти собою сукупність декількох окремих областей.

Тому й було запропоновано розробити імітаційну модель вибору оптимальної структури системи навігаційного обладнання, яка використовує електронні карти відповідного району розміщення засобів системи.

При використанні такої моделі оптимальна структура системи навігаційного обладнання генерується розробником, але частина функцій,

які представлені на вибір, введення структури системи, а також оцінка допустимої області плавання з аналізом розподілу в ній значень показника точності плавання покладено на розробника [7].

Для кожного з трьох класів систем навігаційного обладнання береться мінімальне число її компонентів (наприклад, мінімальне число радіолокаційних станцій оберненої системи дорівнює двом). Базовим обмеженням є задане значення показника точності \bar{D}_r . З огляду на допустимі області розміщення компонентів системи навігаційного обладнання, за допомогою комп'ютерної імітаційної моделі визначається геометрична композиція компонентів, що надає найбільшу точність у всіх точках обладнаного району із заданим маршрутом плавання судна.

Далі мінімальне значення показника точності D_r на заданому маршруті порівнюється із заданим значенням показника точності \bar{D}_r . Якщо обмеження з точності не виконується, то необхідно збільшити число компонентів системи на одиницю.

Процедура повторюється доти, поки обмеження з точності контролю місця судна розглянутою системою навігаційного обладнання не буде виконано. Така процедура виконується до кожного з трьох класів систем навігаційного обладнання. При цьому визначаються вартісні витрати C_i . Очевидно, що перевага надається варіанту, вартість реалізації якого є найменшою. У такому випадку критерій оптимальності досягає екстремального значення при виконанні обмеження з точності проведення судна вказаним маршрутом і обмеження по розміщенню компонентів системи навігаційного обладнання в допустимих областях.

Для вирішення задачі щодо синтезу системи навігаційного обладнання прибережних районів плавання суден необхідно розробити інформаційну систему з електронними картами, яка дозволить обрати карти потрібного району плавання з каталогу карт та по заданому класу й структурі системи навігаційного обладнання визначити позиційні характеристики точності необхідного маршруту плавання.

Висновки

Запропонований метод оптимізації навігаційного обладнання у стиснених водах дозволяє забезпечити необхідну точність плавання суден. Вирішення задачі оптимізації систем берегового навігаційного обладнання потребує дослідження окремих питань, як формалізація впливу класу й структури системи навігаційного обладнання на показник точності плавання, розробки алгоритму вибору оптимальної структури системи навігаційного обладнання визначеного типу та імітаційної моделі.

Список використаної літератури

1. Бабошин Е. А. Інструкція з навігаційного обладнання / Бабошин Е.А. - Міністерство оборони СРСР, 1977. - 286 с.
2. Алексишин В. Г. Оцінювання ефективності системи навігаційного обладнання за допомогою частотного аналізу/ Алексишин В. Г. // Судноводіння. - 2003. - № 6.- С. 9-15.
3. Алексишин В. Г. Розробка методу синтезу локальних систем навігаційного обладнання стисненого району. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.16/ ОНМА. - Одеса, 2004. - 24 с.
4. Алексишин В. Г. Перспективи розробки навігаційних систем оберненого типу/ Алексишин В.Г., Бузовський Д.А. // Судноводіння. - 2005. - № 9.- С. 3-6.
5. Алексишин В. Г. Вибір скалярного критерію точності для оцінки ефективності структури локальних навігаційних систем / Алексишин В.Г., Бузовський Д.А. // Судноводіння. - 2005. - № 10 - С. 9-14.
6. Широков В. М. Розподіл похибок обсервації при використанні методів кореляційної навігації/ Широков В.М. // Судноводіння. - 2003.- С. 154-158.
7. Бузовський Д. А. Розробка методу контролю місця судна багатопозиційною радіолокаційною системою. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.13/ ОНМА. - Одеса, 2008. - 24 с.