

УДК 681.52: 629

**Ідентифікація параметрів підводного апарата для задач керування на базі  
інверсної моделі**

**Автор:** Блінцов С.В., Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

Розглянемо об'єкт керування, динаміку якого можна представити диференціальним рівнянням першого порядку:

$$k_1 \dot{x} = u - k_2 x + D, \quad (1)$$

де  $u$  – керуючий вплив,  $x$  – керована величина,  $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$  – перша похідна по часу  $t$  від керованої величини,  $D$  – зовнішнє збурення,  $k_{1,2} = f(u, x, \dot{x})$  – нелінійні (нестационарні) коефіцієнти об'єкта керування.

Автоматичне керування на основі інверсної моделі об'єкта керування виконується за законом

$$u = k_1 \dot{x}_d + k_2 x - D,$$

де  $\dot{x}_d$  – бажане (desired) значення першої похідної керованої величини. Величина  $\dot{x}_d$  визначається за формулою

$$\dot{x}_d = \frac{e_x}{\Delta t} = \frac{x_d - x}{\Delta t},$$

де  $e_x$  – похибка керування,  $x_d$  – задане (desired) значення керованої величини,  $\Delta t$  – постійна часу САК (заданий проміжок часу, за який керована величина  $x$  має прийняти задане значення  $x_d$ ).

В такий спосіб можливо керувати при відомих (в кожен момент часу) значеннях коефіцієнтів  $k_1$  та  $k_2$ . При цьому величина зовнішнього збурення  $D$  на кожному кроці керування визначається з формули (1) по фактичних значеннях  $u$ ,  $x$  та  $\dot{x}$  за умови відносно повільної зміни  $D$ .

Для застосування САК на основі інверсної моделі об'єкта керування при невизначених  $k_1$  та  $k_2$  необхідно розв'язати задачу їх ідентифікації. Для цього приймемо, що величина зовнішніх збурень не змінюється, або змінюється повільно, тобто  $D \approx \text{const}$  на інтервалі  $\Delta t$ , тоді об'єкт ке-

рування можна представити у вигляді деякої функції двох змінних з невідомими нестационарними коефіцієнтами  $k_1$  та  $k_2$ :

$$u = f(x, \dot{x}) = k_1 \dot{x} + k_2 x - D.$$

Розглянемо залежність  $u$  від  $\dot{x}$  при  $x = \text{const}$ . Деякому значенню  $\dot{x}_1$  відповідає  $u_1$ , а деякому значенню  $\dot{x}_2$  відповідає  $u_2$ . Знайдемо різницю  $u_2$  та  $u_1$  – величину  $\Delta u$ :

$$\begin{aligned} u_2 - u_1 &= k_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2 x - k_2 x - D + D; \\ \Delta u &= k_1 \Delta \dot{x}. \end{aligned} \quad (2)$$

Розглянемо залежність  $u$  від  $x$  при  $\dot{x} = \text{const}$ . Деякому значенню  $x_1$  відповідає  $u_1$ , а деякому значенню  $x_2$  відповідає  $u_2$ . Знайдемо різницю  $u_2$  та  $u_1$ :

$$\begin{aligned} u_2 - u_1 &= k_2(x_2 - x_1) + k_1 \dot{x} - k_1 \dot{x} - D + D; \\ \Delta u &= k_2 \Delta x. \end{aligned} \quad (3)$$

Коефіцієнти  $k_1$  та  $k_2$  на основі (2) та (3) можна представити як частинні похідні функції  $u = f(x, \dot{x})$ :

$$k_1 = \frac{\partial u}{\partial \dot{x}}; \quad (4)$$

$$k_2 = \frac{\partial u}{\partial x}. \quad (5)$$

Аналогічно частинною похідною можна представити відношення коефіцієнтів  $k_1$  та  $k_2$ :

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{\partial x}{\partial \dot{x}}. \quad (6)$$

Звідси випливає, що для об'єкта керування з  $k_1 = \text{const}$  коефіцієнт  $k_2$  залежить тільки від  $x$  та  $u$  і не залежить від  $\dot{x}$ .

Таким чином, для повної ідентифікації об'єкта керування в його робочих межах потрібно виконати необхідну кількість вимірювань керованої величини  $x(u, t)$  при  $D = \text{const}$ , за рівняннями (4) та (5) знайти коефіцієнти у вигляді залежностей  $k_1 = f(x, \dot{x})$  та  $k_2 = f(x, \dot{x})$  і використовувати їх у складі САК на основі інверсної моделі для керування в умовах невизначеності зовнішніх збурень, оскільки  $k_1$  та  $k_2$  не залежать від  $D$ .

Розглянемо корпус підводного апарата в якості об'єкта керування, динаміка якого описується відомим диференціальним рівнянням першого порядку [1]:

$$m\dot{V} = F - 0,5\rho cSV^2 + F_D, \quad (7)$$

де  $V$  – швидкість руху ПА (керована величина),  $\dot{V} = dV/dt$  – її перша похідна по часу  $t$ ,  $F$  – упор рушіїв ПА (керуючий вплив),  $F_D$  – зовнішнє збурення,  $m$  – маса ПА з приєднаними масами води,  $\rho$  – густина води,  $S$  – характерна площа корпусу ПА,  $c$  – нелінійний гідродинамічний коефіцієнт. Невизначеними є коефіцієнти об'єкта керування  $m$  та  $K = 0,5\rho cS|V|$ .

Очевидно, що рівняння (1) та (7) є аналогічними.

Величина  $m$  майже не змінюється при русі ПА [1]. Нестационарність проявляються в коефіцієнті  $K$ , оскільки він залежить від керованої величини  $V$ .

Для об'єктів з незмінним параметром  $k_1$  достатньо для керуючого впливу  $u_1 = \text{const}$  провести заміри  $x_1 = f(t)$  і  $\dot{x}_1 = f(t)$  та для одного значення  $u_2$  заміряти по одному значенню  $x_2 = f(t)$  та  $\dot{x}_2 = f(t)$ . Порядок ідентифікації при цьому буде наступний: спочатку знаходимо  $k_1$  за рівнянням (4), далі, використовуючи рівняння (6), знаходимо  $k_2 = f(x)$ .

На рис. 1 **Юшибка! Источник ссылки не найден.** зображено результати моделювання ПА для ідентифікації його параметрів. Заміри, виконані через кожні  $\Delta t = 0,1$  с, позначені крапками.

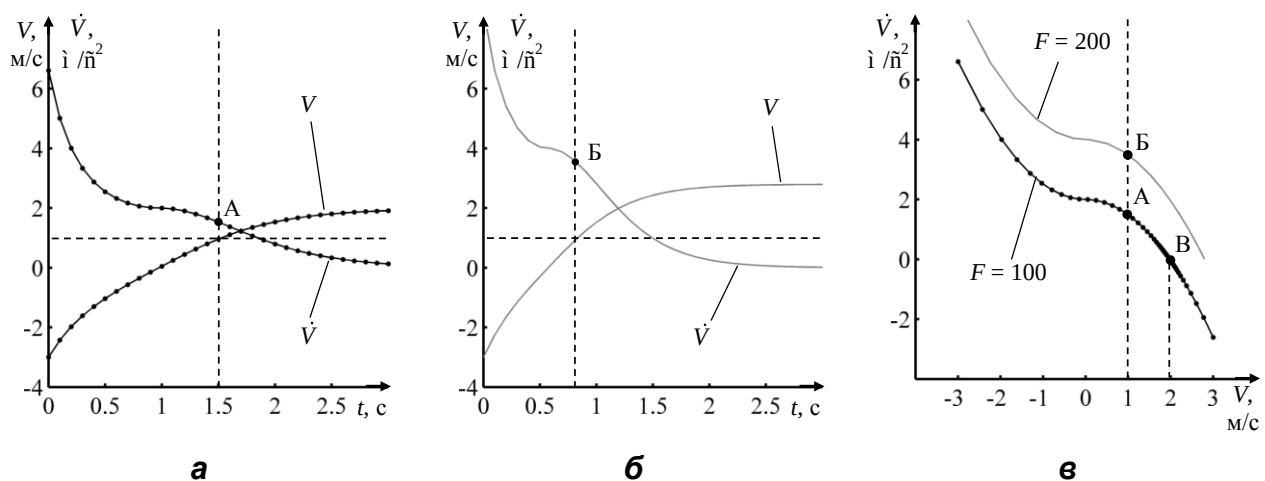


Рис. 1. Результат заміру керованої величини  $V$  та її похідної  $\dot{V}$   
при  $F = 100$  Н (а) і  $200$  Н (б)

Для ідентифікації достатньо при  $F = 200$  Н заміряти параметри в одній точці, наприклад, в точці Б. Всі результати замірів об'єднано в залежність  $F = f(V, \dot{V})$ , зображену на рис. 1, в. На ньому також відображені точки при  $V_0 = +3$  м/с.

Для знаходження коефіцієнту  $k_1$  об'єкта керування було визначено, яке прискорення відповідає швидкості  $V = 1$  м/с при  $F_1 = 100$  Н (точка А) та при  $F_2 = 200$  Н (точка Б). За рівнянням (2) було отримано значення, яке дійсно дорівнює масі ПА  $m$ , яка відповідає коефіцієнту  $k_1$ . Коефіцієнт  $K = f(V)$  в кожній точці можна знайти за рівнянням (6) та залежністю  $\dot{V} = f(V)$ , отриманою при  $F = 100$  Н. Розрахунки також підтвердили його відповідність реальним значенням.

Таким чином, розроблений підхід до ідентифікації коефіцієнтів об'єкта керування, динаміка якого описується нелінійним диференціальним рівнянням першого порядку, дає змогу виконувати його ідентифікацію в задачах автоматичного керування в умовах невизначеності власних параметрів об'єкта та зовнішніх збурень.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лукомский Ю.А. Навигация и управление движением судов [Текст] / Лукомский Ю.А., Пешехонов В.Г., Скороходов Д.А. – СПб.: "Элмор", 2002. – 360 с.