

УДК 681.52:629
Б 69

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ І ПРИСКОРЕННЯМ РУХУ ПІДВОДНОГО АПАРАТА НА БАЗІ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

С. В. Блінцов, канд. техн. наук, доц.

Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

Анотація. Розглянуто побудову високоефективної системи автоматичного керування швидкістю і прискоренням руху підводного апарата на базі штучних нейронних мереж, яку можна синтезувати в умовах невизначеності. Показано, що керування не тільки за швидкістю, але й прискоренням забезпечує плавну динаміку руху без різких ривків керуючої напруги і коливань швидкості.

Ключові слова. підводний апарат, система автоматичного керування, штучна нейронна мережа, умови невизначеності, інверсна модель.

Аннотация. Рассмотрено построение высокоэффективной системы автоматического управления скоростью и ускорением движения подводного аппарата на базе искусственных нейронных сетей, которую можно синтезировать в условиях неопределенности. Показано, что управление не только по скорости, но и ускорению обеспечивает плавную динамику движения без резких рывков управляющего напряжения и колебаний скорости.

Ключевые слова. подводный аппарат, система автоматического управления, искусственная нейронная сеть, условия неопределенности, инверсная модель.

Abstract. The design of high-performance automatic speed and acceleration control system for underwater vehicle movement on the basis of artificial neural networks is considered. The system can be synthesized under uncertainty. It is shown that both speed and acceleration control provide the smooth dynamics of movement without abrupt jerks of the control voltage and speed fluctuations.

Keywords. underwater vehicle, automatic control system, artificial neural network, uncertainty, inverse model

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

З точки зору побудови систем керування підводний апарат (ПА) є складним багатозв'язним нелінійним динамічним об'єктом [1]. Відомо, що істотні нелінійності, пов'язані з гідродинамікою його руху як твердого тіла у воді та характеристиками гребного гвинта, унеможливають побудову ефективних регуляторів за класичними методами теорії автоматичного керування. Крім того, не існує точної математичної

моделі руху ПА під водою. А наявні моделі містять багато коефіцієнтів, які досить складно визначити як при проектуванні, так і експериментальним шляхом. Таким чином, синтез систем керування ПА часто необхідно проводити в умовах невизначеності його математичної моделі.

Тим часом актуальність вирішення задачі автоматичного керування рухом ПА стає все гострішою у зв'язку з розповсюдженням підводної техніки та необхідністю подальшої заміни при виконанні підводних

робіт людини-водолаза відповідним апаратом-роботом. Це дозволяє відмовитися від людської праці в складних умовах у неприродному середовищі, дає змогу збільшити досяжні глибини, тривалість робіт тощо.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Шлях до вирішення цієї задачі відкривають регулятори на базі інверсних моделей із застосуванням штучних нейронних мереж (ШНМ) [2, 3]. Такі регулятори можуть синтезуватися в умовах невизначеності й забезпечують дуже високу статичну і динамічну точність. Проте вони мають один недолік — крок дискретизації системи повинен бути дуже малим ($0,01$ с і менше), для того щоб точність числової дискретної моделі руху ПА, апроксимацією якої є інверсна ШНМ-модель, була достатньою для правильного відображення реальної (неперервної) моделі. При цьому, по-перше, такий малий крок дискретизації висуває високі вимоги щодо швидкодії до апаратних засобів, оскільки повний цикл розрахунків має проводитися за цей проміжок часу. По-друге, регулятор намагається виправити похибку керування за цей малий проміжок, що часто неможливо зробити за наявності фізичних обмежень щодо величини керуючого сигналу. Таким чином, у більшості випадків подається максимальний додатний або від'ємний керуючий вплив, що призводить до практично релейного закону керування і коливальності керованої величини. Для усунення цього недоліку передбачено множення похибки на коефіцієнт $k < 1$, що розтягує виправлення похибки в часі й через це вирішує вказану проблему, при цьому забезпечуються досить високі показники якості керування. Але коефіцієнт k необхідно налаштувати, при чому його оптимальне значення, внаслідок нелінійності об'єкта, є різним для різних режимів руху: наприклад, для різних кінцевих значень швидкості при ступінчатій її зміні, синусоїдальних законів керування з різними амплітудами і частотами тощо.

МЕТОЮ РОБОТИ є розробка системи автоматичного керування швидкістю руху

підводного апарата по одній осі координат на базі штучних нейронних мереж, яку можна синтезувати в умовах невизначеності та яка забезпечить високі показники якості керування на всьому можливому діапазоні зміни керованої величини.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Розглянемо роботу системи керування швидкістю поступального руху ПА по одній осі координат. Крок дискретизації приймемо таким, що дорівнює $\Delta t = 0,1$ с. За цей час закінчуються електричні перехідні процеси (їх стала часу приблизно на порядок менша), і ПА при керуванні швидкістю можна вважати об'єктом другого порядку.

Процес керування має відбуватися наступним чином. У момент часу t_0 ПА має початкові значення швидкості руху V_0 і швидкості обертання гребного гвинта ω_0 . До електропривода гвинта з моменту t_0 протягом часу Δt подається деяке значення напруги живлення u — керуючий сигнал. У кінці цього інтервалу маємо нові значення V_1 і ω_1 . Задача системи керування полягає в тому, щоб визначити таке значення u , яке забезпечить тотожність $V_1 = V_3$, де V_3 — задане значення швидкості, що має бути в цей момент часу. Якщо такі розрахунки проводити послідовно для кожного наступного інтервалу Δt , то швидкість буде змінюватися за заданим законом.

Для визначення напруги живлення u пропонується наступний алгоритм. Спочатку необхідно провести серію експериментів і отримати дані, що в числовій формі характеризують динаміку об'єкта. При різних початкових значеннях V_0 і ω_0 подаються різні значення керуючого впливу, після чого через проміжок часу Δt заміряється значення V_1 . Наприклад, спочатку ПА розганяється до максимальної від'ємної швидкості, при цьому він має максимальну від'ємну частоту обертів гребного гвинта. Протягом часу Δt подається деяке значення u , в кінці заміряється приріст швидкості $\Delta V = V_1 - V_0$. Після цього знову ПА розганяється до максимальних від'ємної швидкості й частоти обертів, подається наступне значення u ,

через Δt знову розраховується приріст ΔV і так далі, поки не буде пройдено з деяким кроком весь діапазон швидкостей, частоти обертів гвинта і керуючого сигналу в усіх можливих комбінаціях. Таким чином, у табличному вигляді отримуємо залежність $\Delta V = f(V_0, \omega_0, u)$. Якщо її апроксимувати, то можна для будь-яких початкових умов V_0, ω_0 підібрати таке значення u , яке забезпечить необхідний приріст швидкості для компенсації похибки керування.

Для апроксимації пропонується використовувати апарат ШНМ. Як показали дослідження, в даному випадку достатню точність забезпечує двошарова мережа зворотного розповсюдження похибки із 30 нейронами в прихованому шарі. Очевидно, що більш зручним було б апроксимувати інверсну залежність $u = f(V_0, \omega_0, \Delta V)$, але це виявилось неможливим, оскільки вона містить неоднозначності. Слід зазначити, що в роботі [3] робилося розбиття інверсної залежності на дві: $\Delta\omega = f(V_0, \Delta V)$ і $u = f(\omega_0, \Delta\omega)$, що значно спрощувало задачу, оскільки замість функції від трьох змінних було дві функції від двох змінних. Але величини ω і V взаємозв'язані, й при збільшенні кроку дискретизації цей зв'язок стає істотним (наприклад, неможливо змінити тільки ω , оскільки за 0,1 с встигне значно змінитися і V), тому їх вже не можна розглядати окремо, має бути одна цілісна залежність, яка містить обидві величини.

Таким чином, регулятор на кожному кроці, знаючи, якою має бути швидкість через 0,1 с, розраховує необхідний приріст швидкості ΔV , після чого послідовно багаторазово звертається до ШНМ-апроксиматора, підбираючи таке значення u , яке за даних початкових умов (V_0, ω_0) забезпечить цей приріст. Результати математичного моделювання роботи такої системи керування показані на рис. 1.

Як видно, вона досить непогано працює при плавному (синусоїдальному) сигналі: керована величина практично збігається із заданим значенням. Максимальна похибка при моделюванні (з ідеальними датчиками зворотного зв'язку) становить 0,01 м/с, сумарна (інтеграл абсолютного значення похибки) — 0,0807 м. Але при ступінчастій зміні швидкості виникають проблеми зі стрибкоподібною зміною керуючого впливу. Природа цього явища полягає в тому, що об'єкт керування є об'єктом другого порядку, що не враховано в системі. Регулятор дійсно правильно обчислює керуючий сигнал, і в кінці кожного інтервалу Δt швидкість практично дорівнює заданій, але залишається прискорення (інерція об'єкта). На наступному кроці ця інерція гаситься, в кінці інтервалу знову швидкість дорівнює заданій, але прискорення залишається в зворотному напрямку, і так продовжується нескінченно.

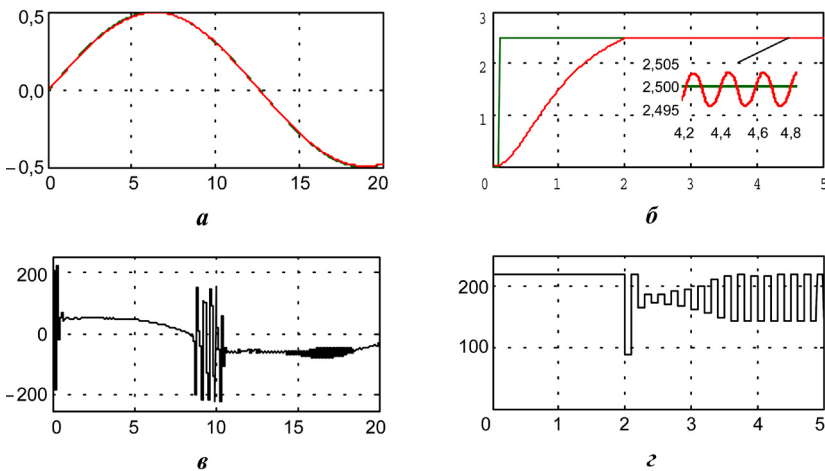


Рис. 1. Результати моделювання роботи системи керування, основаної на залежності $\Delta V = f(V_0, \omega_0, u)$: а, б — графік зміни швидкості; в, г — відповідні керуючі сигнали

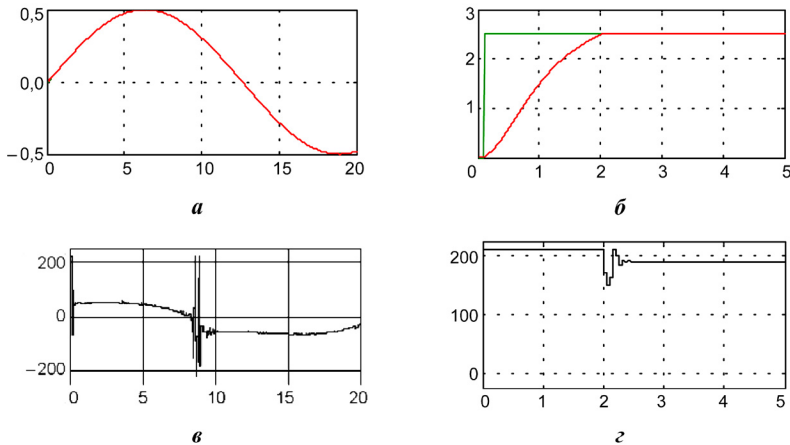


Рис. 2. Результати моделювання роботи системи керування, основаної на залежності $(\Delta V, dV/dt) = f(V_0, \omega_0, u_1, u_2)$:

a, б — графік зміни швидкості; *в, з* — відповідні керуючі сигнали

Для усунення вказаного недоліку пропонується наступний підхід. Інтервал керування розбивається на два (по 0,05 с), протягом яких послідовно подається два значення керуючого сигналу u_1 і u_2 . У залежності від їх комбінації в кінці інтервалу Δt можна отримати не тільки необхідну швидкість, але й необхідне прискорення. При цьому функція моделі об'єкта, на якій буде базуватися система керування, отримає вигляд $(\Delta V, dV/dt) = f(V_0, \omega_0, u_1, u_2)$. Експеримент з отримання навчальної вибірки буде аналогічним попередньому випадку, але комбінуватися тепер будуть чотири вхідних значення $(V_0, \omega_0, u_1, u_2)$, а запам'ятовуватися на виході два — приріст швидкості ΔV і миттєве значення прискорення руху dV/dt .

Очевидно, що апроксимувати вказану залежність буде набагато складніше, оскільки тепер маємо чотири вхідні змінні й дві вихідні, збільшиться також навчальна вибірка. Реалізувати цю функцію в межах однієї мережі з необхідною точністю виявилось досить складно, тому залежність було розбито по діапазонах початкової швидкості на п'ять частин. У кожний момент часу при роботі системи керування використовується та мережа, в діапазоні навчання якої знаходиться в даний момент початкова швидкість V_0 . Експерименти показали, що для апроксимації кожної частини необхідні ШНМ, які містять по 10...20 нейронів у прихованому шарі.

Значно ускладнюється також процес пошуку необхідних значень керуючої напруги. Він відбувається тепер не на плоскій кривій, а на поверхні в просторі, оскільки при початковому стані об'єкта (V_0, ω_0) значення ΔV так само, як і dV/dt , будуть залежати від двох величин — u_1 і u_2 . Крім того, ці дві поверхні (для ΔV і dV/dt) ще необхідно скоординувати, тобто знайти такі значення u_1 і u_2 , які забезпечать одночасне виконання умов відповідності заданим значенням як за приростом швидкості, так і прискоренням. Але ця задача вирішується шляхом написання відповідного правильного алгоритму і програми розрахунку. Результати моделювання роботи такої системи керування показані на рис. 2.

Як видно, в даному випадку значно покращився вигляд керуючого сигналу. При цьому забезпечується динамічна похибка керування в межах 0,001 м/с, сумарна інтегральна похибка — 0,001768 м, що є надзвичайно високим результатом для такого складного нелінійного об'єкта. Таким чином, розроблена система керування є ефективною, оскільки керування виконується не тільки за швидкістю, але й прискоренням. У кінці кожного інтервалу Δt ПА має не тільки необхідну швидкість, але й прискорення, яке забезпечить подальшу плавну динаміку його руху без різких ривків керуючої напруги і коливань швидкості. При цьому така

система може бути синтезована в умовах невизначеності параметрів ПА.

ВИСНОВКИ

Розроблено систему автоматичного керування швидкістю руху підводного апарата по одній осі координат на базі ШНМ, яку можна синтезувати в умовах невизначеності та яка забезпечує високі показники якості керування на всьому можливому

діапазоні зміни керованої величини при будь-якому законі керування. Це досягається шляхом керування не тільки швидкістю, але й прискоренням, що на кожному кроці забезпечує подальшу плавну динаміку руху без різких ривків керуючої напруги і коливань швидкості. При цьому така система може бути синтезована в умовах невизначеності параметрів підводного апарата.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] *Филаретов, В. Ф.* Устройства и системы управления подводных роботов [Текст] / В. Ф. Филаретов, А. В. Лебедев, Д. А. Юхимец. — М. : Наука, 2005. — 270 с.
- [2] *Блінцов, С. В.* Застосування елементів штучного інтелекту в системах керування рухом самохідних підводних апаратів [Текст] / С. В. Блінцов // Технічна електродинаміка. — Темат. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». — 2006. — Ч. 6. — С. 108–111.
- [3] *Блінцов, С. В.* Системи автоматичного керування рухом підводного апарата на основі зворотної нейромережної моделі [Текст] / С. В. Блінцов // Зб. наук. пр. НУК. — 2005. — № 3 (402). — С. 93–100.