УДК 517.9 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.4.9

Г.О. ДИМОВА
Херсонський державний аграрно-економічний університет
ORCID: 0000-0002-5294-1756

ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПРОСТІР ОБ'ЄКТУ В СИСТЕМАХ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

У статті приділена увага питанням визначення інформаційного простору об'єкта в задачах ідентифікації, причому інформаційна множина розглядається як сукупність даних, що отримані під час спостереження за змінними об'єкту в процесі нормальної експлуатації системи і апріорними даними про структуру об'єкту.

Для того, щоб управляти, слід використовувати необхідну інформацію для оцінки ситуації, що склалася, і виробляти рекомендації, що забезпечують найбільш ефективне виконання цілей управління ситуацією. Вибір моделі при розв'язанні задач управління та вивченні безперервних процесів обумовлений як умовами реалізації, так і вимогами адекватності. В умовах невизначеності на перший план виходять алгоритми і методи інформаційного аналізу даних різної структури.

Для розв'язання проблеми управління в умовах невизначеності використовуються методи теорії адаптивних систем, які дозволяють: забезпечити високу точність управління при суттєвій зміні динамічних властивостей об'єкта; здійснювати оптимізацію режимів роботи об'єкта в умовах зміни його характеристик; підвищити надійність системи; уніфікувати окремі підсистеми управління і їх блоки; скоротити терміни розробки і доведення системи. Адаптивні методи використовуються для розв'язку задач, в яких відсутня інформація про характер і умови функціонування об'єкта, а також у випадку неможливості або недостатньо повної формалізації апріорних даних.

Процес синтезу адаптивної системи можна розбити на декілька етапів. Спочатку формується мета управління і виказуються вимоги до структури математичної моделі об'єкту. Для цього використовується апріорна і/або експериментальна інформація. В більш загальному випадку синтез системи зв'язаний з розв'язком задачі структурної ідентифікації. На другому етапі визначається структура керуючого пристрою. Далі здійснюється вибір алгоритму адаптації параметрів регулятора. На заключному етапі проводиться обґрунтування прийнятого алгоритму.

Ключові слова: інформаційний простір, інформаційна множина, об'єкт управління, алгоритм оцінювання параметрів, ідентифікація.

А.О. ДЫМОВА
Херсонский государственный аграрно-экономический университет
ORCID: 0000-0002-5294-1756

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО ОБЪЕКТА В СИСТЕМАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ

В статье уделено внимание вопросам определения информационного пространства объекта в задачах идентификации, причем информационное множество рассматривается как совокупность данных, полученных при наблюдении за переменными объекта в процессе нормальной эксплуатации системы и априорными данными о структуре объекта.

Для того чтобы управлять, следует использовать необходимую информацию для оценки сложившейся ситуации и вырабатывать рекомендации, обеспечивающие наиболее эффективное выполнение целей управления ситуацией. Выбор модели при решении задач управления и изучении непрерывных процессов обусловлен как условиями реализации, так и требованиями адекватности. В условиях неопределенности на первый план выходят алгоритмы и методы информационного анализа данных разной структуры.

Для решения проблемы управления в условиях неопределенности используются методы теории адаптивных систем, которые позволяют обеспечить высокую точность управления при изменении динамических свойств объекта; осуществлять оптимизацию режимов работы объекта в условиях изменения характеристик; повысить надежность системы; унифицировать отдельные подсистемы управления и их блоки; сократить сроки разработки и доказывания системы. Адаптивные методы используются для решения задач, в которых отсутствует информация о характере и условиях функционирования объекта, а также в случае невозможности или недостаточно полной формализации априорных данных.

Процесс синтеза адаптивной системы можно разбить на этапы. Сначала формируется цель управления и выдвигаются требования к структуре математической модели объекта. Для этого используется априорная и/или экспериментальная информация. В более общем случае синтез системы связан с решением задачи структурной идентификации. На втором этапе определяется структура

управляющего устройства. Далее производится выбор алгоритма адаптации параметров регулятора. На заключительном этапе производится обоснование принятого алгоритма.

Ключевые слова: информационное пространство, информационное множество, объект управления, алгоритм оценки параметров, идентификация.

H. DYMOVA
Kherson State Agrarian and Economic University
ORCID: 0000-0002-5294-1756

INFORMATION SPACE OF OBJECT IN IDENTIFICATION SYSTEMS

The article focuses on the issues of determining the information space of an object in identification problems, and the information set is considered as a set of data obtained by observing the variables of an object in the normal operation of the system and a priori data on the structure of the object.

In order to manage, you should use the necessary information to assess the current situation and develop recommendations that ensure the most effective implementation of the objectives of the management of the situation. The choice of a model when solving control problems and studying continuous processes is due to both the conditions of implementation and the requirements of adequacy. In conditions of uncertainty, algorithms and methods of information analysis of data of different structures come to the fore.

To solve the problem of control in conditions of uncertainty, methods of the theory of adaptive systems are used, which make it possible to ensure high accuracy of control when changing the dynamic properties of an object; to optimize the operating modes of the object in conditions of changing characteristics; improve the reliability of the system; unify individual control subsystems and their blocks; reduce the time required to develop and prove the system. Adaptive methods are used to solve problems in which there is no information about the nature and conditions of the object's functioning, as well as in the case of impossibility or insufficient complete formalization of a priori data.

The process of synthesis of an adaptive system can be divided into stages. First, the purpose of management is formed and requirements are set for the structure of the mathematical model of the object. For this, a priori and / or experimental information is used. In a more general case, the synthesis of the system is associated with the solution of the problem of structural identification. At the second stage, the structure of the control device is determined. Next, an algorithm for adapting the controller parameters is selected. At the final stage, the adopted algorithm is substantiated.

Keywords: information space, information set, control object, parameter estimation algorithm, identification.

Постановка проблеми

В умовах апріорної невизначеності для управління об’єктами широко використовуються системи з непрямим адаптивним управлінням, так як дозволяють забезпечити високу якість функціонування. Основною ланкою таких систем є блок ідентифікації. У залежності від властивостей об’єкта і вимог, що пред’являються системі, можуть використовуватися як методи ретроспективної, стратегічної ідентифікації, тобто модель визначається поза контуром управління, так і підходи, що засновані на поточній та оперативній ідентифікації [1]. Попри великої кількості публікацій щодо підходів до ідентифікації систем можна виділити тільки декілька підходів до адаптивного параметричного оцінювання. В основному це метод найменших квадратів, метод стохастичної апроксимації та їх модифікації, а також різні градієнтні алгоритми. При розв’язанні практичних задач теорії управління теоретичні передумови, що лежать в основі вказаних методів, як правило, не виконувались і тому ефективність багатьох процедур ідентифікації була невисокою. Неврахування реальних властивостей приводив до втрати властивостей оптимальності, уповільненню або погіршенню швидкості збіжності [2]. Тому в теорії ідентифікації гостро встала проблема забезпечення грубості алгоритмів і методів, які використовуються, безпосередньо зв’язана з урахуванням обмежень та умов функціонування системи «об’єкт + середовище». Це наступний етап розвитку статистичного направлення удосконалення методів параметричного оцінювання. Для рішення проблеми робастності адаптивних алгоритмів було запропоновано ряд підходів [1, 3], які в наступному склали основу нового наукового напрямку – інформаційної теорії ідентифікації. Вказаний напрямок базувався на урахуванні апріорної інформації про середовище у виді завдання класу найменш сприятливих розподілень перешкод. Такий підхід не дозволяє повністю врахувати реальні умови функціонування об’єкту. Крім того, в цьому випадку виникають труднощі, пов’язані з оцінкою якості роботи алгоритмів ідентифікації за кінцевими вибірками. Отримані алгоритми являються нелінійними відносно помилки оцінювання. Якщо обмеження на перешкоду носять нестатистичний характер, або відома додаткова інформація про вхід, вихід або параметри об’єкту, то запропонована методологія являється непрацездатною.

Використання невизначеності як внутрішньої властивості системи, яка пропонує підхід до проблеми ідентифікації: інформація цінна не тільки своєю наявністю як фізичним атрибутом, але і своїм внутрішнім наповненням, що представляє основний інтерес в процесі аналізу [1]. Тому сформуємо принцип інформаційної повноти в задачах ідентифікації: метою ідентифікації та її алгоритмічних засобів є формування інформаційної множини I системи на основі наявного рівня повноти. З цього принципу випливає, що рівень інформаційної повноти множини I є тим обмежуванням, який визначає мету, рівень та якість отриманого рішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ранні роботи, які були зроблені в області ідентифікації систем, що зв'язані з часовими рядами, і ґрунтувались на роботах К.Ф. Гаусса «Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium» (1809) та Р.Е. Фішера «On an Absolute Criterion for Fitting Frequency Curves» (1912) отримали назву статистичне оцінювання.

Більша частина процедур ідентифікації ґрунтувалась на спостереженні реакцій керованих об'єктів за наявністю деяких управляючих впливів і в залежності від того, який вид інформації про об'єкт використовувався, методи ідентифікації розділялися на частотні та часові. Р.Е. Калман представив опис керованої системи у вигляді простору станів, що позволило працювати з багатомірними системами [4].

Методи ідентифікації систем для задач управління були розроблені і описані в роботі Б.Л. Хо та Р.Е. Калмана «Effective construction of linear state-variable models from input-output functions» – метод підпростору, оснований на використанні проекцій в евклідовому просторі, а також в роботі К.Й. Острема та Т. Боліна «Numerical identification of linear dynamic systems from normal operating records» – метод помилки передбачення, оснований на мінімізації критерія, що залежить від параметрів моделі. Робота Б.Л. Хо та Р.Е. Калмана присвячена пошуку моделі об'єкта, що вивчається, в просторі станів, який має найменший порядок вектора станів, на основі інформації про імпульсну перехідну характеристику. Ця задача при наявності реалізацій випадкового процесу, де формується марківська модель, описана в роботах П. Форре «Realisations markoviennes de processus stationnaires» та Х. Акайке «Stochastic theory of minimal realization», що і стало основою метода підпросторів. Праця К.Й. Острема та Т. Боліна представила метод максимальної правдоподібності, розроблений фахівцями з часових рядів Т.Ч. Купмансом в роботі «Measuring the Equation Systems of Dynamic Economics» і Е.Д. Хеннаном в роботі «Аналіз часових рядів» для оцінювання параметрів моделей у вигляді різницевих рівнянь. Ці моделі, що відомі як авторегресійне ковзне середнє та авторегресійне ковзне середнє зі входом, утворили основу для метода помилки передбачення. Джордж Е.П. Бокс та Г.М. Дженкінс опублікували роботу «Аналіз часових рядів, прогноз та управління», де описали використання методів ідентифікації з моменту початку збору інформації про об'єкт до отримання та перевірки моделі.

При розв'язанні задачі ідентифікації вважається відомими структура системи та клас моделей, до якого вона відноситься. Апріорна інформація про систему достатньо широка. Така постановка задачі ідентифікації найбільш відповідає реальним умовам проектування і їй присвячена робота А. Сейджа та Дж. Мелса «Ідентифікація систем управління».

На відміну від роботи Д. Гропом в роботі «Методи ідентифікації систем» був розглянутий більш широкий клас різних методів ідентифікації та представлений матеріал про чутливість характеристик систем до помилок ідентифікації.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є формування на основі наявного рівня повноти інформаційної множини системи, визначення інформаційного простору об'єкта в задачах ідентифікації та структури експериментальних даних.

Викладення основного матеріалу дослідження

Параметричні моделі використовуються в адаптивних системах ідентифікації та управління. Розповсюдження параметричного підходу пояснюється:

- розвитком теорії автоматичного управління;
- спробою описати у вигляді моделей фізичні процеси, що перебігають в об'єкті;
- алгоритмізацією процесів, що досліджуються.

Введення параметрів в модель дозволяє відобразити структуру, організацію елементів в об'єкті та їх взаємозв'язок. Про працездатність об'єкта судять по межах зміни його параметрів. І тільки завдяки параметричному представленню можливо розв'язати задачу управління в умовах невизначеності.

Параметричний підхід пов'язаний з методами побудови і реалізації моделей, які залежать від параметрів. Математична модель будується для опису будь-яких процесів, що перебігають в об'єкті, або вивчення явищ різної природи. Математичні моделі відображають причинно-наслідкові зв'язки між змінними в просторі «вхід-вихід», які спостерігаються.

Об'єкт, що розглядається з точки зору співвідношення «вхід-вихід», звичайно представляється у виді, зображеному на рис. 1.

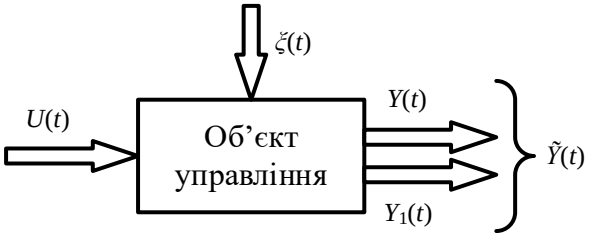

Рис. 1. Схема об'єкта управління

На рисунку 1 $\tilde{Y}(t)$ – вектор змінних, що спостерігається, який для більшості об'єктів управління можна записати у вигляді [1, 3]:

$$\tilde{Y}(t) = Y(t) \cup Y_1(t),$$

де $Y(t) \in \boldsymbol{R}^n$ – безпосередній вихід об'єкта;

$Y_1(t) \in \boldsymbol{R}^l$ – вектор опосередкованих змінних, за якими можна судити про стан об'єкта

$$Y_1(t) = Y_1(Y, t).$$

Простір вхідних змінних також можна розбити на дві підмножини: управляючих змінних $U(t) \in \boldsymbol{R}^k$ і змінних $\xi(t) \in \boldsymbol{R}^q$ (збурень), що змінюються за незалежними і в загальному випадку апріорі невідомими причинами. $\xi(t)$ відображає вплив зовнішнього середовища на об'єкт і може носити випадковий характер. Деякі змінні з $\xi(t)$ піддаються контролю і використовуються для розв'язання задач управління, інші являються шкідливими і по відношенню до об'єкту можуть розглядатися як шум. В задачах ідентифікації передбачається, що вплив середовища на об'єкт проявляється у виді деякого шуму (перешкоди).

Причинно-наслідкові зв'язки в об'єкті на множині експериментальних даних $\mathrm{I}_e = \{Y(t), U(t), t \in \boldsymbol{J}\}$ можна писати за допомогою математичної моделі

$$\begin{aligned} X(t) &= F_1(X, A_1, U, t, \tau), \\ Y(t) &= F(X, A, U, \xi, t). \end{aligned} \qquad (1)$$

де $X(t) \in \boldsymbol{R}^m$ – вектор стану;

$\tau \in \boldsymbol{J}$ – деякий інтервал часу (часова затримка);

F, F_1 – деякі нелінійні оператори, структура яких відома з точністю до векторів невідомих параметрів $A_1(t), A(t)$, що належать обмеженій, або апріорі невідомій області $G_A \subseteq \boldsymbol{R}^v$.

Вектори $A_1(t), A(t)$ в (1) можуть бути постійними або змінюватися з часом $t \in \boldsymbol{J}$ невідомим чином. Вектор $X(t)$ характеризує внутрішній стан об'єкта, а $Y(t)$ являється виходом.

Формула (1) представляє загальний запис процесів, що перебігають в об'єкті, в параметричній формі, тому з цієї формули можна отримати різні види параметричних представлень за рахунок зміни або перетворення аргументів або вигляду операторів F, F_1. Дане представлення справедливо як для динамічних, так і для статичних об'єктів. Для динамічних об'єктів з (1) можна отримати модель в просторі станів. При цьому перше рівняння описує еволюцію внутрішнього стану об'єкта (модель стану), а друге – процес вимірювання (модель спостереження) [3].

Найбільш загальним класом параметричних моделей є динамічні, які можна розділити [1] на безінерційні та інерційні. Класифікація, що пропонується, основана на аналізі і використанні інформації I_e, спостережуваної на деякому інтервалі $\boldsymbol{J} = [t_0, t_k]$ і більш повно відповідає проблемі ідентифікації. До динамічних відносять моделі, що описують процеси, які володіють властивістю інерційності. Інерційність – це реакція об'єкта на вхідний вплив. Тому поняття інерційності асоціюється з парою (U, Y) об'єкту. Безінерційні динамічні моделі включають в себе ще одну змінну – час, який в деяких випадках може виступати як вхіднаа змінна, і як змінна, що відображує передісторію об'єкту. Враховуючи приведені міркування, динамічну модель можна представити наступним чином.

Введемо змінну $\tau \in \boldsymbol{J} = [t_0, t_k]$ і будемо припускати, що $t_0 \le \tau \le t$. Тоді з рівняння (1) можна отримати динамічне представлення в просторі $\{U, Y\}$

$$Y(t) = F\left(A, Y(\tau_1), U(\tau_2), \xi(\tau_3), \tau_i \in \left[t_{\tau_i}, t\right], i = \overline{1,3}\right), \tag{2}$$

де $t_{\tau_i} \geq t_0$.

З рівняння (2) видно, що динамічні властивості об'єкта можуть визначатися як власне його внутрішня структура, так і динамічні властивості входу $U(t)$ та перешкоди $\xi(t)$.

Безліч динамічних процесів в об'єктах управління можна описати за допомогою диференціального рівняння з одним входом *u* і виходом *y*

$$a_0 y^{(m)} + a_1 y^{(m-1)} + \cdots + a_m y = b_0 u^{(k)} + b_1 u^{(k-1)} + \cdots + b_k u + \xi. \tag{3}$$

де ξ – випадкове збурення;

a, *b* – вагові коефіцієнти диференціального рівняння.

Від рівняння (3) можна перейти до кінцево-різницевого представлення. Вважаючи $t = n\Delta t$, де $n = 0, 1, \ldots, \Delta t$ – інтервал знімання даних, та вводячи оператор *z* зсуву назад $zy(n) = y(n - 1)$, отримаємо

$$D_y(z)y(n) = D_u(z)u(n) + \xi(n), \tag{4}$$

де $D_y(z) = a_0 z^m + a_1 z^{m-1} + \cdots + a_m$, $D_u(z) = b_0 z^k + b_1 z^{k-1} + \cdots + b_k$.

Якщо $\xi(t)$ випадкова послідовність, то (4) представляє собою рівняння авторегресії – змінного середнього, а при $D_u(z) = 1$ – модель змінного середнього. У загальному випадку рівняння авторегресії – змінного середнього з динамічною специфікацією для $\xi(t)$ в просторі $\{U, Y\}$ має вигляд

$$Y(t) = F(A, Y(\tau_1), U(\tau_2), \xi(\tau_3),\ \tau_i \in [t_{\tau_i}, t],\ i = \overline{1,3}), \tag{5}$$

де $t_{\tau_i} \geq t_0$.

З (3) видно, що динамічні властивості об'єкта можуть визначатися як його внутрішньою структурою, так і динамічними властивостями входу *U*(*t*) та перешкоди $\xi(t)$.

Рівняння (3)-(4) можна записати в матричній формі (в формі простору станів). Для лінійного стаціонарного об'єкту рівняння в просторі станів має вид

$$\begin{aligned} \dot{X} &= AX + BU + \xi, \\ Y &= CX + DU + \zeta, \end{aligned} \tag{6}$$

де $X \in R^m$ – вектор стану;

$A \in R^{m \times m}$ – матриця стану;

$U \in R^{n \times k}$ – вектор входу;

$Y \in R^n$ – вектор виходу;

$B \in R^{m \times k}$, $C \in R^{n \times m}$, $D \in R^{n \times k}$;

$\zeta \in R^n$ – неспостережуваний вектор помилок вимірювання;

$\xi \in R^m$ – вектор перешкод.

Перше рівняння в (6) називають рівнянням стану, а друге – рівнянням вимірювання (спостереження). В задачах ідентифікації матриця **D** зазвичай дорівнюється нулю.

Будь-який об'єкт може бути охарактеризований сукупністю змінних $\vec{\boldsymbol{u}}(t) \in U$, що поступають на його вхід, і сукупністю змінних $\vec{\boldsymbol{x}}(t) \in X$, які являються реакцією об'єкта на вплив та відображають його стан. Об'єкт занурений в зовнішнє середовище, вплив якого проявляється у виді контрольованих $\zeta(t) \in \Xi$ та неконтрольованих $\xi(t) \in \Sigma$ збурень і також впливає на його стан. В задачах ідентифікації збурення, що контролюються, включаються в склад вектора входу $\vec{\boldsymbol{u}}(t)$. Неконтрольовані збурення $\xi(t)$ проявляються через вихід об'єкта $\vec{\boldsymbol{y}}(t) \in Y$, який належить *X* і являється тільки частиною вектора стану, тобто $Y \subseteq X$. Інформаційний простір об'єкта представляється у виді [1, 4]

$$I = U \times X \times \Psi \times J \times S, \tag{7}$$

де $\Psi = \Sigma \times \Xi$ – простір збурень;

J – інтервал спостереження за об'єктом;
S – простір системних параметрів

$$S \subseteq R^m \times R^n,$$

де $K \subseteq R^n$ – простір структурних ознак системи «об'єкт+середовище», $K \subseteq S$.

Інформативний простір I в реальних умовах є неповністю спостережуваним і тому він покривається деякою інформаційною множиною *I*, що містить доступні для вимірювання множини *U* та *X*. В цьому випадку множина I являє собою сукупність векторів $\vec{u}(t) \in U \subset U$, $\vec{y}(t) \in Y \subseteq X$, спостережуваних на J,

$$I_e = \{U \in R^m, Y \in R^n | \vec{u}(t), \vec{y}(t), t \in J\}. \quad (8)$$

Так як елементи I отримуються в процесі вимірювання спостережуваних змінних стану, то множина I містить тільки чисельні образи елементів просторів U та X. Для повної характеристики об'єкту в множину I включають апріорні відомості, тому I представляється у виді

$$I = \{I_a, I_e\}, \quad (9)$$

де I_a, I_e – відповідно апріорна і експериментальна інформація.

Для ідентифікації об'єктів управління використовується інформаційна множина I (9). Структура і властивості множини I_e дуже впливають на вибір метода синтезу математичної моделі і вид використовуваного алгоритму оцінювання параметрів. Інформація I_e має вид (8) і включає в себе результати вимірювань як вхідних та спостережуваних (вихідних) змінних стану, так і непрямих параметрів, що залежать від вихідних змінних [5, 6].

В залежності від задачі ідентифікації, що розв'язується, множина I_e може мати різну структуру. Якщо розв'язується задача разової ідентифікації об'єкту управління, то процес вимірювання має фіксоване закінчення t_e, причому $t_e > t_0$, де t_0 – час початку спостереження. В цьому випадку інформація I_e має вид (8) і представляється у вигляді

$$I_e(J) = \{H_U(J), H_Y(J)\},$$

де $H_U(J) = [u(t_0), u(t_1), \ldots, u(t_e)]$, $H_Y(J) = [y(t_0), y(t_1), \ldots, y(t_e)]$ – матриці відповідних розмірностей.

Якщо виконується поточна ідентифікація, то інформація I_e має вид

$$I_e = \{\vec{u}(t), \vec{y}(t)\},$$

де $t = t_0 + (i - 1)\tau$, $i = 1, 2, \ldots, t$ – поточний момент часу;
τ – інтервал знімання даних.

При поточній ідентифікації *i* необмежено зростає в міру зростання часу функціонування об'єкта.

Таким чином, множина I_e в конкретних додатках має різний вигляд. Інформація I_e містить дані про параметри та характеристики об'єкта і межі їх вимірювання. В неявному виді I_e відображує обмеження на параметричний простір процесів, що перебігають в об'єкті. Тому множина I_e, маючи вид цифрового масиву, може мати достатньо складну структуру. Елемент $w(t) \in I_e$ можна представити у виді [1, 7, 8]

$$w(t) = w_c(t) + w_g(t) + w_x(t) + \xi(t),$$

де $w_c(t)$ – постійна або функція, що довільно змінюється;
$w_q(t)$ – гармонічна функція з фіксованим періодом;
$w_x(t)$ – деякий процес;
$\xi(t)$ – перешкода вимірювання.

Складова $w_c(t)$ відображує основний режим роботи об'єкта, а $w_g(t)$ – будь-які періодичні явища і процеси, також зв'язані з основним процесом. Функції $w_x(t)$ та $\xi(t)$ відображують вплив різних збурень: $w_x(t)$ характеризують внутрішні, а $\xi(t)$ зовнішні впливи.

Таку структуру множина I_e буде мати не завжди. У залежності від властивостей об'єкту деякі із складових w можуть бути відсутні або мати більш конкретний вид, тобто функцію $w(t)$ можна записати у виді

$$w(t) = w_s(t) + \xi(t),$$

де $w_s(t)$ – функція, яка відображає структурні особливості об'єкта;

$\xi(t)$ – середовища.

Висновки

Процеси $w_s(t)$ та $\xi(t)$ можуть мати як стохастичну, так і регулярну структуру. У випадку регулярної структури використовуються різні описи, які допускають алгоритмічне представлення. У випадку стохастичного характеру процесів для представлення $\xi(t)$ використовуються різні статичні та ймовірнісні характеристики.

Використання тих чи інших методів аналізу експериментальних даних в системах залежить від вимог, що пред'являються до математичного опису, умов перебігу процесів в об'єктів, структури множини I_e. Так, якщо множина I_e задовольняє умові збудження, то аналіз I_e з метою формування інформації I_s може не проводитися, тому що властивостей експериментальних даних, що маємо, досить для отримання адекватної математичної моделі. В інших умовах вибір і реалізація методів аналізу і обробки потребує ретельного вивчення всієї апріорної інформації про об'єкт.

Список використаної літератури

1. Карабутов Н.Н. Адаптивная идентификация систем: Информационный синтез / Н.Н Карабутов. М.: КомКнига, 2006. 384 с.

2. Димова Г.О. Знаходження оптимальних значень функцій із застосуванням методу спряжених градієнтів / Г.О. Димова // Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2021. Вип. 3. С. 3-9.

3. Карабутов Н.Н. Методы структурной идентификации нелинейных объектов: монография / Н.Н. Карабутов. Saarbrücken-Deutschland: Palmarium Academic Publishing, 2014. 110 с.

4. Димова Г.О. Методи і моделі упорядкування експериментальної інформації для ідентифікації і прогнозування стану безперервних процесів: монографія / Ганна Олегівна Димова. Херсон: Видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2020. 176 с.

5. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации / Я.З Цыпкин. М.: Наука, 1995. 336 с.

6. Марасанов В.В. Модель пространства контролируемых параметров нестационарного динамического объекта / В.В. Марасанов, А.О. Дымова // Вісник ХНТУ, Херсон. 2015. №2(53). С. 152 – 156.

7. Гроп Д. Методы идентификации систем / Д. Гроп. М.: Мир, 1979. 302 с.

8. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Л. Льюнг М.: Наука, 1991. 432 с.

References

1. Karabutov N.N. Adaptivnaya identifikatsiya sistem: Informatsionnyy sintez [Adaptive identification of systems: Information synthesis] Moscow: KomKniga, 2006.384 p.

2. Dymova H.O. Znakhodzhennya optymal′nykh znachen′ funktsiy iz zastosuvannyam metodu spryazhenykh hradiyentiv [Finding optimal values of functions using the method of conjugate gradients] Tavriys′kyy naukovyy visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky. Khersons′kyy derzhavnyy ahrarno-ekonomichnyy universytet [Taurian Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences. Kherson State Agrarian and Economic University] Kherson: Vydavnychyy dim «Hel′vetyka», 2021. Vyp. 3. Pp. 3-9.

3. Karabutov N.N. Metody strukturnoy identifikatsii nelineynykh ob"yektov: monografiya [Methods for structural identification of nonlinear objects: monograph] Saarbrücken-Deutschland: Palmarium Academic Publishing, 2014.110 p.

4. Dymova H.O. Metody i modeli uporyadkuvannya eksperymental′noyi informatsiyi dlya identyfikatsiyi i prohnozuvannya stanu bezperervnykh protsesiv: monohrafiya [Methods and models for ordering experimental information for identifying and predicting the state of continuous processes] Kherson: Publishing house FOP Vyshemyrskyy V.S., 2020. 176 p.

5. Tsypkin Ya.Z. Osnovy informatsionnoy teorii identifikatsii [Fundamentals of information theory of identification] Moscow: Nauka, 1995.336 p.

6. Marasanov V.V., Dymova A.O. Model' prostranstva kontroliruyemykh parametrov nestatsionarnogo dinamicheskogo ob"yekta [Model of the space of controlled parameters of a non-stationary dynamic object] Visnyk KhNTU [Visnyk KhNTU] Kherson. 2015. №2 (53). Pp. 152 - 156.

7. Grop D. Metody identifikatsii system [Methods of identification of systems] Moscow: Mir, 1979. 302 p.

8. Ljung L. Identifikatsiya sistem. Teoriya dlya pol'zovatelya [Systems identification. Theory for the user] Moscow: Nauka, 1991.432 p.