

дослідження ефективності використання нового критерію зупинки, показано його переваги над існуючими.

**Ключові слова:** генетичний алгоритм, бінарне-дійсне кодування, критерій зупинки, оптимізація.

*Мочалин Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра информационных технологий, Киевская государственная академия водного транспорта им. гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Украина, e-mail: a.y.mochalin@gmail.com.*

*Мочалин Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра информационных технологий, Киевська державна академія водного транспорту ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Україна.*

*Mochalin Oleksandr, Kyiv State Maritime Academy named after hetman Petro Konashevich-Sahaydachniy, Ukraine, e-mail: a.y.mochalin@gmail.com*

УДК 001.891:65.011.56

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51740

**Грибков С. В.,  
Логвин Т. В.,  
Харкянен О. В.**

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАКЕТІВ ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Досліджено пакети програмних модулів для ідентифікації динамічних об'єктів, що забезпечують зберігання відносно простих програмних модулів для автоматичного формування прикладних програм. Визначено місце пакетів програмних модулів для перевірки на стаціонарність динамічного об'єкта ідентифікації, а також можливість їх використання для багатократно адаптивних систем ідентифікації. Наведено та описано структуру пакета програмного модуля для ідентифікації динамічних об'єктів.*

**Ключові слова:** пакети програмних модулів, ідентифікація, динамічні об'єкти, моделювання, управління, система, параметри моделі.

### 1. Вступ

Поняття «моделювання» (modeling) є одним з базових в усіх галузях наукової та інженерної діяльності. Напевно саме через різноманітність напрямків в окремих теоретичних дисциплінах під моделюванням розуміють суттєво різні теорії, методи та засоби. Моделювання — це розгорнутий опис певного об'єкта. Задачу моделювання можна сформулювати таким чином: необхідно для заданого об'єкта підібрати такий опис, який у достатній повній мірі відображає би оригінал з точки зору заданої мети моделювання. Для спрощення процесу моделювання складних динамічних об'єктів та зменшення витрат часу на цей процес доцільно використовувати пакети програмних модулів.

Пакет програмних модулів (ППМ) — це набір взаємозв'язаних модулів, призначених для вирішення задач певного класу. Пакети програмних модулів входять до різних програмних комплексів, що включають вирішення багатьох задач певної предметної області [1]. Сумісність програмних модулів, що входять до ППМ, полягає у їх взаємодії, загальній структурі управління вхідними та вихідними масивами даних, що використовуються. Кожен ППМ є окремою програмною одиницею, призначеною для вирішення необхідного набору задач та може бути використаний як у комплексі з іншими ППМ, так і окремо.

Існують два суттєво різних типи пакетів програмних модулів, а саме:

- об'єктно-залежні — проблемно-орієнтовані на певну предметну область;
- об'єктно-незалежні — методо орієнтовані (інваріантні), тобто можуть використовуватися при моде-

люванні та вирішенні завдань з різних предметних областей.

Необхідно відмітити, що застосування методоорієнтованих пакетів часто неефективно, оскільки:

- в них не враховується специфіка віршувальних задач конкретної предметної області;
- для їх використання користувач повинен мати досить високу математичну підготовку для попередньої обробки вхідних даних та обрання методу вирішення.

Цим обґрунтовується актуальність проведеного дослідження.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Одним з наукових напрямків, що інтенсивно розвивається, є теорія управління, а особливо її самостійний розділ ідентифікація. Процес моделювання та ідентифікації кожного об'єкта залежить від складності останнього та його характеристик. Особливо складним є процес моделювання динамічних об'єктів, тому багато робіт присвячено його удосконаленню за рахунок нових підходів та засобів.

Автори роботи [1] розглянули додаткові модулі розширення системи моделювання «MATLAB + Simulink», які частково забезпечують ідентифікацію і аналіз лінійних та нелінійних систем. Описані модулі можуть обмінюватися функціями та моделями, що відкриває можливість для аналізу, моделювання та проектування найрізноманітніших систем. Незважаючи на те, що розглянуті модулі мають широкий спектр застосування,

виникають труднощі з використанням створених моделей в інших системах моделювання та в якості окремих програмних модулів.

Робота [2] присвячена основам побудови математичних моделей ідентифікації різних динамічних систем, а саме: лінійних та нелінійних; безперервних та дискретних; у часовому просторі та на комплексній площині; в детермінованому та в стохастичному варіантах; з урахуванням зосереджених та розподілених параметрів. Розглянуті авторами елементи теорії ідентифікації у роботі [3] спрямовані на опис практичних підходів та надання рекомендацій для побудови моделей складних динамічних об'єктів управління. Але у роботах [2, 3] не розглянута практична побудова систем та пакетів для ідентифікації об'єктів.

Розробка системи управління складним багатовимірним об'єктом на основі розширеної бази моделей розглядається в роботі [4], що можна взяти за основний підхід при моделюванні складних динамічних об'єктів.

Необхідно відмітити авторський метод побудови математичної моделі лінійного динамічного об'єкта, описаного звичайним диференціальним рівнянням, що заснований на попередньому визначенні порядку диференціального рівняння об'єкта методами непараметричного моделювання та дозволяє будувати адекватні моделі динамічних об'єктів з меншими витратами засобів обчислювальної техніки [5]. Розглянутий метод вибору структури, у порівнянні з перебором усіх можливих варіантів, вимагає значно менше машинного часу, а побудова непараметричної моделі в багатьох випадках є завданням менш складним, ніж вибір структури моделі та налаштування її параметрів, особливо у випадку високих порядків диференціальних рівнянь.

Для побудови моделі функціонування складного об'єкта у роботі [6] пропонується модифікований алгоритм ідентифікації динамічного об'єкта, що враховує апріорну інформацію про його параметри, та перетворює блок вихідних даних у безліч блоків меншої розмірності. Вирішується завдання побудови моделі за допомогою ітераційних алгоритмів, що реалізують варіаційний підхід до завдань часткової апроксимації, двоступеневих алгоритмів, в яких процеси структуризації простору вхідних параметрів і побудови локальних регресійних моделей розділені.

Останнім часом для рішення задач ідентифікації пропонуються еволюційні обчислення [7] та генетичні алгоритми [8], але недоліком більшості з цих методів є те, що в результаті їх застосування є можливість отримання наближеного значення, а не оптимального.

Аналіз літературних джерел дає підстави зробити висновок, що дослідження, як правило, направлені на удосконалення методів ідентифікації, але поза увагою залишається створення та використання незалежних від певного середовища моделювання пакетів програмних модулів для ідентифікації складних динамічних об'єктів.

### 3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

*Об'єкт дослідження* — процес ідентифікації складних динамічних об'єктів управління.

*Метою роботи* є дослідження підвищення ефективності та зменшення часу на ідентифікацію динамічних об'єктів в процесі їх моделювання за рахунок використання пакетів програмних модулів.

Для досягнення поставленої мети розглядались наступні задачі:

- дослідження призначення пакетів програмних модулів для ідентифікації;
- визначення місця пакетів програмних модулів для перевірки на стаціонарність динамічного об'єкта ідентифікації;
- дослідження та визначення структури пакету програмного модуля;
- дослідження можливості використання пакетів програмних модулів для багатократно адаптивних систем ідентифікації.

### 4. Призначення пакетів програмних модулів

Для визначення зручної форми узагальнення та за собою вирішення задач ідентифікації динамічних об'єктів доцільно використовувати пакети програмних модулів з реалізацією різних методів ідентифікації. Пакет програмних модулів повинен забезпечити вирішення задачі на основі масивів даних, отриманих на вході та виході об'єкта управління, наявної апріорної інформації про об'єкт та умови його експлуатації. ППМ повинен автоматично вирішувати задачі ідентифікації з наданням результатів у формі, зручній для подальшого моделювання та управління [2].

Кожен ППМ повинен складатися з наступних блоків:

- 1) введення інформації про параметри об'єкта, вхідні та вихідні дані;
- 2) попередньої обробки та аналізу вхідних даних;
- 3) реалізації алгоритмів ідентифікації;
- 4) забезпечення представлення різних видів опису моделей та інформації;
- 5) реалізації оптимізаційних процедур;
- 6) управління та моніторингу роботи пакету в цілому.

Перший блок використовується для введення вхідних даних, додаткових параметрів, а саме: форми математичного опису моделей, діапазонів зміни початкових величин та їх значень; характеристик ідентифікованого об'єкта.

Блок попередньої обробки та аналізу вхідних даних забезпечує можливість поповнення інформації, при умові її мінімального обсягу про необхідні властивості об'єкта, оцінювання лінійності або нелінійності, стаціонарності або нестаціонарності об'єкту управління.

Блок реалізації алгоритмів ідентифікації забезпечує використання методів ідентифікації для вирішення задачі різного класу.

Блок забезпечення представлення різних видів опису моделей та інформації необхідний при переході від одного методу ідентифікації до іншого, наприклад, вагова функція, передавальна функція, диференціальне рівняння.

Блок реалізації оптимізаційних процедур забезпечує використання алгоритмів оптимізації для вибору величин, від яких залежить точність процесу ідентифікації. Необхідно відмітити, що на даний момент не існує повністю формалізованих способів вибору алгоритмів оптимізації.

Блок управління та моніторингу роботи пакету координує роботу інших блоків і забезпечує вирішення завдань ідентифікації в цілому.

## 5. Перевірка на стаціонарність динамічного об'єкта ідентифікації

Динамічну модель називають стаціонарною, якщо властивості перетворення вхідних змінних не змінюються з часом. В іншому випадку її називають нестаціонарною. Об'єкт може вважатися стаціонарним, якщо його параметри міняються повільно в порівнянні з часом, який потрібен для ідентифікації об'єкта. Тому, на початковому кроці перевіряється на стаціонарність реалізація вхідного сигналу об'єкта, і якщо він виявляється нестаціонарним, то подальша статистична обробка вихідного сигналу не проводиться. Якщо реалізація вхідного сигналу стаціонарна, то на стаціонарність перевіряється реалізація вихідного сигналу та за результатами робиться судження про стаціонарність або нестаціонарність об'єкту [9].

Судження про лінійність об'єкта здійснюється на підставі оцінювання виду закону розподілу, виходячи з таких положень:

- з теорії проходження сигналу через лінійні системи відомо, що якщо вхідний сигнал підпорядковується нормальному закону розподілу, то і вихідний сигнал теж розподілений за цим законом;
- лінійні динамічні системи мають властивості закону нормального розподілу вихідного сигналу в тих випадках, коли розподіл сигналу на вході відрізняється від нормального;
- при проходженні сигналу, що має властивості закону нормального розподілу, через нелінійну систему вихідний сигнал істотно спотворюється.

Зазначимо, що в разі, коли вхідний і вихідний сигнали мають розподіл, відмінний від нормального, висновок про лінійність або нелінійність ідентифікованого об'єкта зробити не можна. У цьому випадку оцінка лінійності об'єкта здійснюється на етапі власне ідентифікації (порівнянням результатів ідентифікації лінійним і нелінійним методами). Для обробки даних «вхід-вихід» з метою одержання математичного опису досліджуваного об'єкта, необхідно обрати найбільш відповідний ідентифікованому об'єкту метод ідентифікації з наявних в ППМ. Це досягається шляхом порівняння передумов окремого методу з відмінними властивостями об'єкта.

Основні характеристики та особливості об'єкту можливо представити набором якісних та кількісних ознак, які складають індекс об'єкта (ІО).

Основними ознаками об'єкту, що визначають вибір відповідного методу ідентифікації є наступні [2]:

- 1) лінійність – нелінійність;
- 2) стаціонарність – нестаціонарність;
- 3) детермінованість – стохастичність;
- 4) одновимірність – багатовимірність;
- 5) можливість або неможливість подачі на вхід об'єкту відповідних сигналів.

Зазначений перелік ознак може бути розширений в залежності від предметної області та об'єкту управління [5].

Набір ознак, що характеризують можливість методу ідентифікації, називають індексом методу (ІМ). Якщо об'єкт або метод ідентифікації володіють якоюсь властивістю, то ознака, що характеризує цю властивість, кодується «1», в іншому випадку «-1». Якщо щодо цієї властивості нічого певного сказати не можна (інформація відсутня), то зазначена ознака

кодується як «0». Збіг або близькість ІО та ІМ свідчить про можливе застосування методу ідентифікації [10].

## 6. Пакет програмного модуля для багатократно адаптивних систем ідентифікації

Ефективність застосування пакетів програмних модулів для ідентифікації оцінюється обсягом необхідної апріорної інформації, що забезпечує їх роботу, адже чим менший її обсяг, тим ефективнішим вважається пакет. Мінімальна інформація про минуле, що необхідна для повного опису майбутньої поведінки (тобто вихідних змінних) системи, якщо поведінка її вхідних змінних відома, починається з визначення поточного часу  $t_0$ . Необхідний рівень якості ідентифікації досягається шляхом адаптації, що полягає в цілеспрямованому корегуванні будь-якого набору елементів множини  $\{Q_k\}, k \geq 0$  та ціле, кожен елемент якої належить деякій (зазвичай випуклій) області речовинного нормального простору, з метою досягнення екстремуму показника функції  $F(Q_k)$  при упорядкованому значенні  $k$ . При інших рівних умовах, чим краще алгоритм адаптації, тим ефективніша система [11].

Багатократно адаптивні системи ідентифікації реалізуються відносно релаксаційних процесів  $\{\Sigma_k, \beta_k, Opt_k, \alpha_k\}$  у вигляді:

1.  $\{\beta_{k,n}\}, n = 1, 2, \dots$ , відносно  $J_k$ ;
2.  $\{\Sigma_k, Opt_k, \alpha_k, J_k\}, k = 1, 2, \dots$ , відносно  $I$ , де  $\{\beta_{k,n}\}$  – підмножина моделі;  $\Sigma_k$  – прямий добуток підмножини  $J_k$ ;  $Opt_k$  – підмножина методів оцінювання вектору параметрів моделі;  $\alpha_k$  – вектор параметрів метода  $Opt$ ;  $J_k$  – підмножина оптимізованих по  $\beta$  методами  $\{Opt, \alpha\}$ ;  $I$  – підмножина основних функціоналів, що визначають якість рішення задач.

Для одноелементної множини  $\{Opt_k\}$  багатократною адаптивною системою буде система, що побудована на основі методу групового обліку аргументів в яких структура  $\Sigma$  та параметри множини  $\beta$  підбирають з урахуванням умови екстремуму критерію  $I$ . При інших рівних умовах доцільно розширити множину  $\{Opt_k\}$ , що дозволить отримати більш ефективні моделі по відношенню до критерію  $I$  [3].

Процес підбору моделі та параметрів для кожного об'єкту ідентифікації є достатньо складним процесом, тому доцільно використовувати пакети прикладних модулів. Загальна схема пакету програмних модулів системи ідентифікації динамічних об'єктів представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема пакету програмного модуля для ідентифікації динамічних об'єктів

В основі будь-якого пакету програмного модуля для ідентифікації динамічних об'єктів виділяється ядро пакету, що є ідентичним для будь-якого пакету, а також бази даних та моделей, зміст яких змінюється в залежності від предметної області. На вході пакета програмного модуля знаходиться поставлена задача ідентифікації певного динамічного об'єкта та статистична інформація про даний об'єкт за певний проміжок часу. На виході є ідентифікована модель динамічного об'єкта та прогноз поведінки цього об'єкта на майбутній період [7].

База моделей вміщує моделі та методи ідентифікації наближені до предметної області та визначає функціональність пакету, а також його ефективність. Вона забезпечує гнучкість моделювання за рахунок використання готових блоків моделей та підпрограм, що застосовуються окремо або в комплексі для побудови та підтримки моделей. Кожна модель базується на математичній інтерпретації проблеми, за допомогою певних алгоритмів забезпечує певні етапи при моделюванні предметної області. В базу моделей входять від простих до складних комплексних процедур лінійного програмування, статистичного аналізу часових рядів, регресивного аналізу та ін. Необхідно відмітити, що база моделей повинна бути гнучкою та мати можливість включення нових моделей, а також поєднання компонентів моделей у бази моделей.

База даних вміщує найбільш повну та необхідну інформацію про предметну область, об'єкт ідентифікації, статистичні дані про вхідні та вихідні параметри об'єкта. Накопичення інформації здійснюється поступово, що забезпечує, з часом, достатню кількість інформації для ідентифікації будь-якого динамічного об'єкта заданої предметної області.

Підсистема попередньої обробки інформації забезпечує фільтрацію вхідної інформації з метою усунення надлишкових чи хибних даних.

Підсистема моніторингу модуля забезпечує координатну та моніторинг усіх складових пакету, а також визначає обрання алгоритмів застосування методів та моделей ідентифікації, обробки інформації, визначає потоки інформації між компонентами пакету [10].

Підсистема обробки результатів здійснює формування та подачу моделі динамічного об'єкта ідентифікації, що встановлює зв'язок між вхідними і вихідними змінними, у формі на основі якої може бути обрано закон управління, що забезпечує бажане функціонування об'єкта.

Підсистема моніторингу модуля — це спеціальна програма, яка за сформованим на вході завданням автоматично організовує виклик модулів в потрібній послідовності, забезпечує обмін інформацією між ними і керує процесом вирішення завдань. Введення значень змінних параметрів моделі на вході можна здійснювати в довільному порядку.

Аналізатор пакету здійснює трансляцію вихідного тексту завдання у внутрішню мову ПК, забезпечуючи таким чином розшифрування і перетворення вхідних конструкцій у інформацію, яка дозволяє організувати роботу всіх інших програм пакету.

Планувальник обчислювального процесу встановлює черговість обробки модулів для виконання відповідних визначених інструкцій.

Завантажувач-виконавець згідно з обчислювальною схемою планувальника здійснює послідовне завантаження та виконання всіх програмних модулів.

## 7. Висновки

В роботі проведено дослідження структури пакетів програмних модулів для ідентифікації динамічних об'єктів, що дозволяє спростити процес моделювання складних динамічних об'єктів.

В статті визначено місця пакетів програмних модулів для перевірки на стаціонарність динамічного об'єкта ідентифікації, а також можливість їх використання для багатократно адаптивних систем ідентифікації.

В основі пакету програмного модуля для ідентифікації динамічних об'єктів виділяється ядро пакету, а також бази даних та моделей, зміст яких змінюється в залежності від предметної області. На вході пакета програмного модуля знаходиться поставлена задача ідентифікації певного динамічного об'єкта та статистична інформація про даний об'єкт за певний проміжок часу. На виході є ідентифікована модель динамічного об'єкта та прогноз поведінки цього об'єкта на майбутній період.

Необхідно відмітити, що створення пакетів програмних модулів для багатократно адаптивних систем ідентифікації повинно бути прив'язане до предметної області, але за рахунок модульності виникає можливість використання окремих програмних модулів з пакетів для різних предметних областей. В такому випадку необхідно розуміти, що для коректності процесу моделювання необхідно додатково контролювати вибір та використання пакетів програмних модулів, які будуть застосовані для ідентифікації кожного динамічного об'єкта.

## Література

1. Дьяконов, В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем [Текст] / В. Дьяконов, В. Круглов. — СПб.: Питер, 2001. — 448 с.
2. Billings, S. A. Severely Nonlinear Systems [Text] / S. A. Billings // NARMAX Methods in the Time, Frequency, and Spatio-Temporal Domains. — Wiley-Blackwell, 2013. — P. 289–336. doi:10.1002/9781118535561.ch9
3. Самсонов, В. В. Нариси з теорії ідентифікації [Текст]: монографія / В. В. Самсонов, А. М. Сільвестров. — К.: НУХТ, 2012. — 222 с.
4. Радионов, В. М. Система управления гидроциклоном с идентификацией параметров и выбором оптимальной модели [Текст] / В. М. Радионов // Гірничий вісник. — 2014. — № 97. — С. 181–184.
5. Мальцева, Т. В. Об одном методе построения математической модели линейного динамического объекта [Текст] / Т. В. Мальцева // Молодой ученый. — 2008. — № 1. — С. 40–48.
6. Дорофеюк, Ю. А. Структурная идентификация сложных объектов управления на базе методов кусочной аппроксимации [Текст] / Ю. А. Дорофеюк // Управление большими системами. — М.: ИПУ РАН, 2010. — № 30. — С. 79–88.
7. Ali Hussein Hasan. On-Line Parameters Estimation Using Fast Genetic Algorithm [Text] / Ali Hussein Hasan, A. N. Grachev // Journal of Electrical and Control Engineering (JECE). — 2014. — Vol. 4, № 2. — P. 16–21.
8. Razali, N. M. Genetic Algorithm Performance with Different Selection Strategies in Solving TSP [Text] / N. M. Razali, J. Geraghty // Proceedings of the World Congress on Engineering. — London: UK, 2011. — Vol. II. — 6 p.
9. Карпов, А. А. Определение параметров многомерной по входу и выходу линейной динамической системы при наличии автокоррелированных помех в сигналах [Текст] / А. А. Карпов, О. А. Кацюба // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. ак. С. П. Королева. — Самара, 2009. — № 2 (18). — С. 135–142.

10. Kalman, R. Contribution to the Theory of Optimal Control [Electronic resource] / R. Kalman // Bull. Soc. Mat. Mech. — 1960. — Vol. 5, № 1. — P. 102–119. — Available at: \www/URL: [http://liberzon.csl.illinois.edu/teaching/kalman\\_paper.pdf](http://liberzon.csl.illinois.edu/teaching/kalman_paper.pdf)
11. Luenberger, D. Introduction to dynamic systems [Electronic resource] / D. Luenberger. — N. Y.: Wiley, 1979. — 446 p. — Available at: \www/URL: <http://home.deib.polimi.it/guariso/BAC/Texts/Luenberger.pdf>

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАКЕТОВ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Исследованы пакеты программных модулей для идентификации динамических объектов, которые обеспечивают хранение относительно простых программных модулей для автоматического формирования прикладных программ. Определено место пакетов программных модулей для проверки на стационарность динамического объекта идентификации, а также возможность их использования для многократно адаптивных систем идентификации. Приведена и описана схема пакета программного модуля для идентификации динамических объектов.

**Ключевые слова:** пакеты программных модулей, идентификация, динамические объекты, моделирование, управление, система, параметры модели.

*Грибков Сергей Віталійович*, кандидат технічних наук, кафедра інформаційних систем, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна.

*Логвин Тетяна Вікторівна*, аспірант, кафедра інформаційних систем, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна.

*Харкянен Олена Валеріївна*, кандидат технічних наук, кафедра інформаційних систем, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна, **e-mail:** [helen\\_nuft@ukr.net](mailto:helen_nuft@ukr.net).

-----  
*Грибков Сергей Витальевич*, кандидат технических наук, кафедра информационных систем, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.

*Логвин Татьяна Викторовна*, аспирант, кафедра информационных систем, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.

*Харкянен Елена Валериевна*, кандидат технических наук, кафедра информационных систем, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.

-----  
*Hrybkov Serhii*, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine.

*Logvyn Tetiana*, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine.

*Kharkianen Olena*, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, **e-mail:** [helen\\_nuft@ukr.net](mailto:helen_nuft@ukr.net)