

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

Київський політехнічний інститут

На правах рукопису

ХОДЗИЦЬКИЙ Андрій Євгенійович

УДК 519.87:681.3.06

МЕТОД АВТОМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ (МАЛИХ) ВИБОРК
ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН З ЗАДАНОЮ
ІНФОРМАЦІЙНОЮ ЯКІСТЮ

Спеціальність: 05.13.01 - Управління в технічних
системах

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на одержання наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ, 1993

Робота виконана на кафедрі автоматики та управління в технічних системах Київського політехнічного інституту.

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00814588 (Y)

Науковий керівник - доктор технічних наук
Л. Ф. КОМПАНЕЦЬ.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор,
академік Академії зв'язку України,
лауреат Державної премії України
В. К. СТЕКЛОВ,

кандидат фізико-математичних наук,
ведучий науковий співробітник
В. В. ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ.

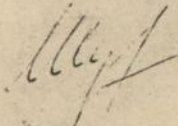
Ведуча організація - Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова
АН України.

Захист дисертації відбудеться "19" 04 1993 р.
1500 годин на засіданні спеціалізованої Ради К 068.14.01 у
Київському політехнічному інституті, 252066, Київ-56,
проспект Перемоги 37, корп. 22, ауд. 503.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського
політехнічного інституту.

Автореферат розіслано "17" 03 1993 р.

Вчений секретар спеціалізованої Ради, канд.
техніч. наук, доцент

 /Ю. І. ШУЛЬГА/

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

АНОТАЦІЯ

Ціль дисертаційної роботи - теоретична розробка метода та технології автоматичного моделювання (малих) виборок (у тому числі неоднорідних) ПБВ, а заданою ПКК в діалоговому режимі ГР та призначеною ІЯ. Практична ціль роботи полягає у реалізації та експериментальному дослідженні нового метода та технології моделювання виборок ПБВ, а також в обґрунтуванні їх ефективної реалізуємості.

Для досягнення цілі були вирішені наступні задачі: сформульовані вимоги до властивостей нового методу та технології моделювання; синтезована комп'ютерно-орієнтована модель одного та двумірних ПБВ, яка використовує ролевий підхід теорії штучного інтелекту; розроблені додаткові математичні та алгоритмічні процедури моделювання, які враховують метрологічні особливості та особливості, які накладаються вимогами автоматичної реалізації; розроблено та досліджено комп'ютерний критерій Код близькості пари моделей; виконані експериментальні дослідження, які підтверджують вірність головних наукових положень.

Наукові положення, що захищаються:

1. МЕТОД автоматичного моделювання (малих) виборок одного та двумірних (у тому числі неоднорідних) ПБВ, який дає можливість масовому користувачу у діалоговому режимі задавати практично будь-яку ГР та призначати ІЯ виборки.

2. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ моделювання виборок ПБВ з елементами інтелектуальності, яка розроблена на основі ролевої моделі предметної області (ПО) у вигляді обчислювальної технологічної сітки (СТ-N).

3. Ентропійний критерій Код близькості/розходження пари імовірсно-статистичних моделей, за допомогою якого автоматично оцінюється ІЯ окремих перетворень та/або усієї технології моделювання.

4. РЕЗУЛЬТАТИ теоретичних та експериментальних досліджень розроблених методу та технології, які підтверджують їх працездатність та можливість широкого використання.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Впровадження нової інформаційної технології, а також значне підвищення інтересу до використання імовірно-статистичного апарату у науково-технічних додатках обумовлює необхідність створення методів, моделей та програмних систем (ПС), які забезпечують можливість моделювання практично цікавих в сучасних застосуваннях стохастичних систем, об'єктів та ситуацій з заданими користувачем характеристиками та інформаційною якістю (ІЯ). Під ІЯ далі розуміється ступінь інформаційної (по К. Шеннону) розбіжності пари функцій, які задовольняють властивостям густини розподілу (ГР) імовірностей.

Тенденція широкої комп'ютеризації в області обробки різнорідних сигналів та зображень, а також істотне розширення кола застосувань імовірно-статистичного апарату об'єктивно породжують нову закономірність: масовим користувачем стає не програмувальний спеціаліст з низькою статистичною кваліфікацією. Далі такий користувач називається прикладним кінцевим користувачем (ПКК).

Застосування у чистому вигляді методології та інструментаря інтелектуальних систем, тобто систем, які реалізують нову інформаційну технологію, пов'язано з рядом суперечностей: витрати обчислювальних ресурсів для реалізації інтелектуальних систем перевищують допустимі для багатьох застосувань ресурси, в особливості для бортових систем та систем персонального рівня; головна увага при побудові систем обробки та синтезу сигналів приділяється розробці пристроїв під конкретні типи сигналів, що значно знижує ефективність систем; масовий користувач, як правило, має низьку програмістську та/або імовірно-статистичну кваліфікації.

Тому уявляється актуальним не тільки розробка подібних систем на базі засобів, які використовуються у традиційній технології, але і пошук інших ефективних підходів до створення комп'ютерних систем обробки та синтезу стохастичних сигналів.

Відзначимо, що незважаючи на численні розробки в області теорії та засобів імітаційного моделювання (Бусленко М. П., Полляк Ю. Г., Клейнен Дж., Кнут Д., Нейлор Т., Шеннон Р.) проблема моделювання псевдовипадкових величин (ПВВ) з врахуванням сучасних вимог ПКК вирішена не в повному обсязі. Автору не відомі ПС для моделювання виборок ПВВ, системна розробка яких була б єдиною, економічною та задовольняла б як вимоги сучасного масового користувача, так і нової інформаційної технології.

Тому створення ПС для моделювання виборок ПВВ, яка була б орієнтована на ПКК та дозволяла б моделювати у діалоговому режимі виборки практично усіх можливих ГР, з призначеною ІЯ, уявляється досить актуальним. Особливу специфіку має проблема моделювання малих виборок.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених задач були використані методи теорії імовірностей та комп'ютерної статистики, статистичної теорії інформації, імітаційного моделювання, а також основи теорії систем штучного інтелекту.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що вперше: 1. Реалізовано системний підхід до проблеми моделювання виборок ПВВ, які задовольняють вимогам ПКК. 2. Розроблені метод та інформаційна технологія автоматичного моделювання виборок ПВВ, орієнтовані на ПКК. 3. Запропоновані та реалізовані моделі та автоматичні процедури процесу моделювання з забезпеченням ІЯ виборок. 4. Запропоновано та використано новий критерій Код інформаційної близькості/розходження пари моделей. 5. Створена предметно-орієнтована ПС, яка реалізує запропоновані метод та технологію моделювання. Система математично, функціонально та програмно сумісна з побудованими на прийнятій у дисертаційній роботі концепції системами для моделювання випадкових процесів та полів.

Практична цінність. 1. Створена ПС дозволяє з мінімальними витратами обчислювальних ресурсів ПКК моделювати виборки ПВВ з заданою ГР та призначеною ІЯ. Це якісно розширює можливість коректного використання імовірнісного моделювання у науково-технічних додатках. 2. Розроблений критерій Код може

використовуватися в різних системах класифікації та в системах комп'ютерного зору. З. Результати роботи можуть бути складовою частиною робіт по створенню ПС для моделювання ансамблів реалізацій випадкових процесів та полів, які будуть створюватися на прийнятій у дисертаційній роботі концепції.

Впровадження результатів. Результати досліджень знайшли впровадження у таких розробках, які були виконані при безпосередній участі автора: система комп'ютерного зору ОЧІ91-КПІ для контролю цілосності фотоперетворювачів сонячних батарей по їх телевізійному зображенню (НДІ Проблем механіки "Рити", м. Київ; НВО ім. С. А. Лавочкина, м. Москва); система комп'ютерного зору ОКО90-КПІ для (квазі)оберненого стискування/відновлення космічних зображень, та швидкої локалізації та розпізнавання об'єктів (Інститут математики АН України; КВ Електроприладобудування, м. Харків); система для експрес-аналізу електрофізичного стану локально-епітаксiального шару кремнію при виробництві інтегральних схем (НДІ молекулярної електроніки, м. Зеленоград); пакет прикладних програм імітаційного моделювання специфічних випадкових сигналів для гідроакустичних досліджень (ІЗФ Російської АН, м. Москва); цикл лабораторних робіт по курсах "Математичне забезпечення науково-технічних досліджень. Частина 1" та "Автоматизоване управління в технічних системах" (кафедра автоматики та управління в технічних системах (АУТС) Київського політехнічного інституту).

Апробація роботи. Наукові результати та основні положення роботи доповідались та обговорювались на конференції "Фізичні методи діагностування електро- та радіовиробів в задачах управління якістю та надійністю" (м. Чернігів, 1986 р.); конференції "Актуальні проблеми в області радіоелектроніки, автоматики, обчислювальної техніки, енергетики, машинобудування та промислових технологій" (м. Київ, 1988 р.); 3-х Королівських читаннях "Фундаментальні та прикладні проблеми космонавтики" (м. Київ, 1988 р.); наукових семінарах кафедри АУТС КПІ.

Публікації. По матеріалах дисертації опубліковано 7 робіт, у тому числі одержано 1 авторське свідоцтво та 1 пози-

тивне рішення на винахід. Крім того, деякі результати роботи викладені у 4 звітах по НДР (автор є співвиконавцем).

Об'єм та структура роботи. Дисертаційна робота має вступ, 4 глави, загальні висновки, додаток. Повний об'єм роботи 136 с., у тому числі головний текст - 82 с., 26 мал. (28 с.), 9 табл. (15 с.), список використаної літератури, в якому приведено 117 джерел (11 с.), додаток - 13 с.

Вступ має сформульовані наукову проблему, ціль роботи, головні завдання досліджень, наукові положення, що захищаються, та інші обов'язкові відомості.

В першій главі виявлені недоліки сучасних технологій моделювання виборок ПЕВ. Сформульовані в узагальненому вигляді задача та головні ідеї методу для автоматичного моделювання виборок ПЕВ з потрібною ГР та заданою ІЯ при роботі в режимах ПКК.

В другій главі розроблена модель ПО у вигляді обчислювальної технологічної сітки. Обґрунтована непротирічність та повнота моделі ПО.

В третій главі розроблено новий ентропійний критерій КоД близькості/розходження пари імовірно-статистичних моделей. Розроблено автоматичні процедури забезпечення ІЯ процесу моделювання.

В четвертій главі наведені результати експериментальних досліджень особливостей головних механізмів методу та технології моделювання.

В загальних висновках наведені головні результати роботи.

В додатку наведені акти впровадження результатів роботи.

ЗМІСТ РОБОТИ.

В результаті огляду встановлено, що сучасні системи імітаційного моделювання мають вузьку універсальність, тобто не забезпечують моделювання досить різноманітної множини структурно-параметричних типів ГР ПЕВ; відсутній досить зручний апарат для оцінювання якості змодельованих виборок.

Показано, що надання ПС можливості настройки/перенас-

тройки на конкретну структурно-параметричну модель з нетривіальної множини може бути реалізоване за допомогою розробки моделі ПО. Розробка моделі ПО виконана на основі ролевої моделі (РМ). Термін РМ введено по аналогії з РМ акад. Г. С. Поспелова. Адитивно-сумішні РМ для моделювання виборок неоднорідних одно- (РВ1) та двумірних (РВ2) ПРВ мають вигляд:

$$(1) \quad Y(x) = (1-e)\{Y_1(x)+Y_2(x)\} + eY_3(x);$$

$$(2) \quad Y(x_1, x_2) = (1-e)\{Y_1(x_1, x_2)+Y_2(x_1, x_2)\} + eY_3(x_1, x_2).$$

В них з точки зору ПКК виявлені такі головні ролеві компоненти: Y_1 - головна компонента, однорідна ПРВ; Y_2 - компонента, яка має зміст шуму; Y_3 - компонента, яка описує грубі похибки; +, - - помітки адитивності шаблону зв'язування компонентів; e - малий параметр сумішної моделі П. Хубера.

Різноманітність структурно-параметричних типів моделей ПРВ приведена у таблиці.

Табл.

Множина структурно-параметричних типів моделей ПРВ.

Ідент.	Змістовний опис
01VR	Виборка з ГР $p(x)=Rav(0,1)$
02VA	Виборка з аналітично заданою $p(x)$
03VF	Виборка з $p(x)$, яка задана таблично
04VN	Неоднорідна виборка з $p(x)$, яка відповідає РМ (1)
05V2A	Двумірна виборка з аналітично заданими $p(x)$ та/або $p(y/x)$
06V2F	Двумірна виборка з $p(x)$ та/або $p(y/x)$, які задані таблично
07V2H	Двумірна неоднорідна виборка з $p(x,y)$, яка відповідає РМ (2)

Компонентами РМ (1) та (2) можуть бути типові імовірнісно-статистичні моделі. Моделі (1) та (2) дозволяють досить адекватно формалізувати сигнально-завадні ситуації у сучасних науково-технічних додатках.

Встановлені алгоритмічні та метрологічні особливості відомих технік моделювання виборок ПБВ та визначені їх головні недоліки: схеми моделювання спеціалізовані на моделюванні конкретної моделі ПБВ; виборки в більшості не витримують прийняті на практиці тести на випадковість; гистограма не відповідає по статистичним та інформаційним критеріям заданій ГР.

Проведена модернізація базових та розробка додаткових математичних та алгоритмічних процедур.

Розроблена загальна структура методу та технології моделювання, яка включає наступні блоки: модернізована модель базового генератора рівномірно розподілених на інтервалі $(0,1)$ ПБВ (01VR, див. табл.); модель генератора ВВ1 з задавальною ГР (02VA, 03VF); модель генератора ВВ2 з задавальними маргінальною та/або умовними ГР (05V2A, 06V2F); моделі генераторів неоднорідних ПБВ, які відповідають моделям (1) та (2) (04VN, 07V2N відповідно); процедура ефективних автоматичних тестів забезпечення задавальної ІЯ; процедура автоматичної апроксимації заданої ГР поліномом кульового порядку.

Як формалізм для представлення моделі ПО в пам'яті ЕОМ була вибрана семантична сітка, яка має наступні властивості: наглядність графічного представлення знань; простота введення в сітку додаткових процедур.

Розроблена модель ПО являється проблемно-орієнтованою. Суттєвий об'єм займають процедуральні знання, які представлені у вигляді програмних моделей, і реалізують відповідні математичні перетворення над моделями об'єктів. Модель ПО розроблена на основі обчислювальної технологічної сітки (СТ-N).

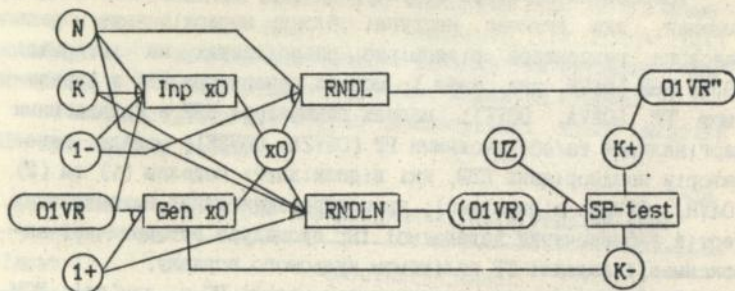
Різноманітність реалізуємих ПО структурно-параметричних типів моделей якісно більша, ніж різноманітність, яку можна досягти при використанні засобів традиційної технології.

Фрагмент СТ-N для моделювання ПБВ 01VR наведено на мал.

1, де N - об'єм виборки; K - кількість інтервалів апроксимації ГР; x_0 - початкове випадкове число; $1-/+$ - умова одержання x_0 ; UZ - рівень анаучності; $K(-)+$ - виборка (не)відповідає тестам.

СТ-N складається з технологічних ланцюжків, які представляють собою запрограмовані структури моделей сигналів, і забезпечують закінчені технологічні процедури моделювання виборок. Множина технологічних ланцюжків представляє єдину обчислювальну структуру з неоднозначними шляхами, синхронними (∇) та асинхронними подіями, фактами-завданнями ($O1VR$) та фактами-результатами ($O1VR''$). Доведена повнота та непротирічність прийнятої моделі ПО.

Мал. 1.



Виявлено, що при моделюванні виборок найбільш суттєвими є дві похибки: похибка апроксимації $\tilde{p}(x)$ ГР $p(x)$; похибка базової виборки ПРВ $O1VR$, тобто відхилення гистограми $\hat{p}(x)$ виборки від ГР $Rav(0,1)$.

Для зменшення першої похибки була розроблена математично коректна процедура автоматичного визначення мінімальної кількості інтервалів апроксимації ГР. В процедурі має бути критерій для оцінки попарної близькості функцій, які мають властивості ГР. Такий критерій повинен мати такі властивості: некритичність до об'єму виборки; інваріантність до виду ГР; симетризованість; відносність результату; можливість зручної

та ефективної реалізації на ЕОМ. Критерій також повинен задовольняти загальним вимогам, які пред'являються до математичних мір. Сучасні статистичні та інформаційні критерії не мають цих властивостей в повному обсязі.

Запропоновано відносний ентропійний критерій Код, який має змістовну ентропійну по К. Шеннону інтерпретацію; вимірює близькість/розходження у відносних одиницях; симетризований; задовольняє вимогам, які пред'являються до мір зв'язку та розходження; має ефективну комп'ютерну реалізацію.

Критерій має вигляд:

$$(3) \text{ Код}(x, y) = \frac{1}{H(x) + H(y)} \sum_{k=1}^n \begin{cases} (p_k(x) - p_k(y)) \log(p_k(x) / p_k(y)), \\ \{p_k(x) \neq 0 \text{ та } p_k(y) \neq 0\} \in Z; \\ -p_k(x) \log(p_k(x) / \Delta Z), \\ \{p_k(x) \neq 0 \text{ та } p_k(y) = 0\} \in Z; \\ -p_k(y) \log(p_k(y) / \Delta Z), \\ \{p_k(x) = 0 \text{ та } p_k(y) \neq 0\} \in Z; \\ 0, \{p_k(x) = 0 \text{ та } p_k(y) = 0\} \in Z; \end{cases}$$

де n - кількість приведених інтервалів на об'єднаній області визначення функцій; $p_k(\cdot)$ - поточне значення ГР для x та y ; ΔZ - поточне приведені значення кроку апроксимації (як правило, не постійне); $Z = X \cup Y$ - об'єднана область визначення ПЕВ X та Y ; $H(y)$ - ентропія $p(y)$;

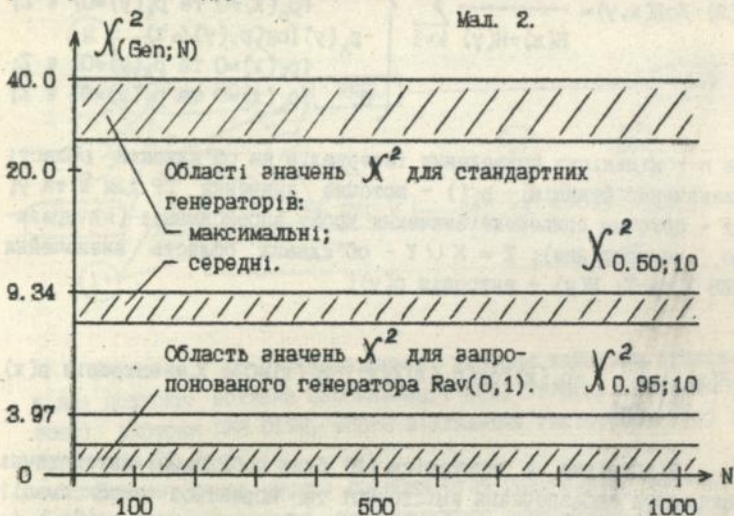
$$H(x) = \sum_{k=1}^n -p_k(x) \log(p_k(x) / \Delta x), \quad p_k(x) \neq 0 \in X \text{ - ентропія } p(x),$$

Відповідно з критерієм (3) були побудовані автоматичні процедури забезпечення змістовної та коректної апроксимації ГР, а також оцінки ступеня адекватності гістограми $\hat{p}(x)$ та апроксимації $\tilde{p}(x)$.

Представлені методика та результати таких експериментальних досліджень: якості та ефективності запропонованої схеми моделювання базових виборок ПЕВ $\text{Rav}(0,1)$; чутливості

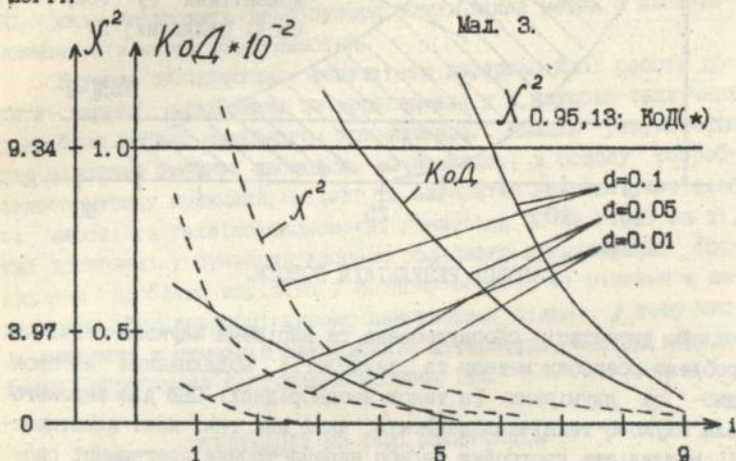
критерію Код при оцінюванні інформаційної близькості пари функцій; процедури автоматичного визначення мінімальної кількості інтервалів апроксимації ГР; використання критерія Код при розпізнаванні об'єктів на зображенні.

Експериментально досліджені залежності метрологічних характеристик (по критерію χ^2) базових генераторів ПВВ. Для прийнятої на практиці кількості інтервалів гістограми (10, 15, 25) та малих об'ємів виборок (100, 200, ..., 1000) проведені дослідження покажуть суттєве підвищення якості виборок, які одержані за допомогою запропонованого генератора $Rav(0,1)$ (див. мал. 2) (стандартні генератори: 1. Turbo Pascal 5.0; 2. Turbo C 2.0; 3. Quick Basic 2.0.); часові ж характеристики запропонованого генератора незначно відрізняються від характеристик стандартних.



Досліджена чутливість введеного критерію Код в задачах оцінювання близькості пари моделей, які задаються ГР, в порівнянні з статистичними критеріями (наприклад, χ^2). Для нормованої гаусової ГР $n(0,1)$ підтверджена висока чутливість

критерія КоД при оцінюванні близькості пари гістограм (див. мал. 3). (Введена абсолютна похибка d в i -му відліку гістограмами.) При цьому КоД(*) є експериментально виявленою інформаційною похибкою моделювання для розроблених методу та технології.

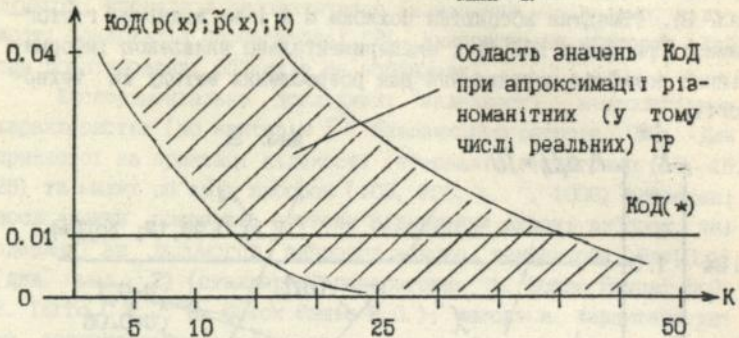


Досліджені особливості автоматичної процедури апроксимації ГР. Підтвержено, що похибка апроксимації вносить головний вклад у загальну похибку методу моделювання (див. мал. 4). Підтверджено, що математично коректний вибір кількості інтервалів апроксимації по розробленій методиці забезпечує призначену ПКР ІЯ (малих) виборок.

Досліджена можливість використання критерію КоД, наприклад, для розпізнавання об'єктів на реальному зображенні. Виявлена принципова можливість його використання, а також його висока інформаційна та обчислювальна ефективність.

Результатом експериментальних досліджень є висновок про принципову працездатність та високу ефективність методу та технології моделювання виборок ПЗВ.

Мал. 4.



ГОЛОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ.

В дисертації сформульована та вирішена науково-технічна проблема розробки методу та технології моделювання виборок одно- та двумірних (а також неоднорідних) ПЕВ для широкого кола науково-технічних додатків, який має такі нові властивості: можливість настройки та/або перенастройки програмної системи на технологію моделювання потрібної користувачу моделі ПЕВ, яка здійснюється оперативно та в автоматичному режимі; у процесі моделювання автоматично забезпечується призначена користувачем ІЯ виборки по критерію Код; користувачем є спеціаліст, програмна та/або статистична кваліфікація якого низька; програмна система може бути використана як функціональна одиниця в інтегрованих системах для моделювання стохастичних потоків, процесів, полів та конструювання з цих об'єктів неоднорідних сигналів.

В РЕЗУЛЬТАТІ: 1. Розроблен метод автоматичного моделювання виборок одно- та двумірних ПЕВ, який орієнтовано на ПКК та забезпечує можливість у діалоговому режимі задавати практично будь-яку потрібну ГР та призначати ІЯ виборки. 2. Розроблена реалізуєча метод інформаційна технологія моделювання, що має елементи інтелектуальності, основою якої є концепція формалізації ПО з використанням ролевої моделі неоднорідної ПЕВ у вигляді обчислювальної технологічної сітки. 3. Розроб-

лені нові та модернізовані існуючі математичні та алгоритмічні моделі для моделювання виборок ПБВ. 4. Розроблено ентропійний критерій Код близькості/розходження пари імовірнісно-статистичних моделей, за допомогою якого оцінюється якість процедури моделювання. 5. Синтезована модель ПО та структура ПС, які дозволяють реалізувати розроблений метод з забезпеченням усіх нових властивостей.

Наукові та практичні результати дисертаційної роботи досить широко апробовані та впроваджені у 4 науково-технічних розробках систем подібного призначення. Аналіз результатів дає підставу зробити висновок, що покладені в основу розробленого методу принципи, моделі та алгоритми забезпечують рівні якості та техніко-економічні показники ПС не гірші за ті, які досягнені у сучасних засобах подібного призначення. Поставлена проблема вирішена у повному обсязі, її рішення є закінченим. При розробці широко використані відомі, у тому числі наведені у сучасній закордонній літературі, методи моделювання, обробки та тестування виборок ПБВ.

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Дегтярь М.С., Ходацький А.Є. Пакет прикладних програм імітаційного моделювання імовірнісних об'єктів. // Фізичні методи діагностування електро- та радіо виробів у задачах управління якістю та надійністю. Республіканська конференція, Чернігів, 1986 р. - деп. в УкрНДІНТІ, 25.04.1989, No 1167Ук89, с. 153-162.

2. Ходацький А.Є., Мічук І.А. Процедура проектування інтелектуальних пакетів на прикладі ППП "Генератор та класифікатор випадкових процесів". // Актуальні проблеми в області радіоелектроніки, автоматики, обчислювальної техніки, енергетики, машинобудування та промислових технологій: Тезиси доповідей науково-технічної конференції. - К.: КПІ, 1988. - с. 59.

3. Компанець Л.Ф., Ходацький А.Є., Аль-Хусайні Мохамад Таджеддін. Критерій відносної ентропійної близькості імовірнісно-статистичних моделей. // У зб.: Вісник Київського полі-

техн. ін-ту. Автоматика та електроприладобудування, вип. 27, 1990, с. 111-117.

4. Компанець Л. Ф., Ходацький А. Е., Буднік С. О. Генератор випадкових чисел. А. с. 1684793 (СРСР). - Опубл. В. В., 1991, № 38.

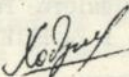
5. Компанець Л. Ф., Ходацький А. Е., Буднік С. О., Ліповік І. В. Генератор випадкових чисел. Позитивне рішення від 9.11.1991 р. по заяві на винахід № 4911111/24-24/112376.

6. Компанець Л. Ф., Краснопрошина А. А., Малоков М. М. Математичне забезпечення наукових досліджень в автоматичі та управлінні. - К.: Вища школа, 1992. - 288 с. (Ходацький А. Е. є співавтором параграфів 2.4, 3.3 та додатку 1).

7. Компанець Л. Ф., Ходацький А. Е., Нгуен Тхі Фіонг Лоан. Модель предметної області для програмної системи "Генератор випадкових величин". // У сб.: Вісник Київського політехн. ін-ту. Автоматика та електроприладобудування, вип. 29, 1992, с. 68-75.

8. Ходацький А. Е. (співвиконавець) Розробка адаптивних засобів обробки, зберігання та накопичування інформації. Підсумковий звіт по НДР № 134. - К.: КПІ; Інститут загальної фізики Російської АН, 1988 р.

9. Ходацький А. Е. (співвиконавець) Алгоритм цифрової обробки відеозображень для рухомих об'єктів. Підсумковий звіт по НДР № 43, шифр "Ожо". - К.: КПІ, Інститут математики АН України, 1990 р.

Автор:  А. Е. Ходацький

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Подписано в печать 3.03.93г Формат 60x84/16
Бумага писчая. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ №12
Отпечатано ЦУОП ГНПП "Плодвинконсерв" г.Киев, Саксаганского, 1

44063

AB 26.991