

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗАДОРОЖНИЙ АРТЕМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 004.94(043.3)

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ БЛОЧНОГО ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВХІДНОЇ
ІНФОРМАЦІЇ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Чернігів 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Чернігівському національному технологічному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Чернігів

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Литвинов Віталій Васильович,
Чернігівський національний технологічний університет Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри програмної інженерії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Томашевський Валентин Миколайович,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, професор кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Ковалець Іван Васильович,
Інститут проблем математичних машин та систем НАН України, завідувач відділу інтелектуальних інформаційно-аналітичних систем

Захист відбудеться «12» травня 2016 р. о 14 годині 30 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради К 79.051.03 у Чернігівському національному технологічному університеті за адресою: 14027, м. Чернігів, вулиця Шевченка, 95.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Чернігівського національного технологічного університету за адресою: м. Чернігів, вулиця Шевченка, 95.

Автореферат розісланий «4» квітня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
канд. техн. наук, доцент

Заровський Р.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Імітаційне моделювання є важливою складовою будь-якого наукового дослідження. Однією з переваг імітаційного моделювання є можливість створення моделей реальних систем і процесів для проведення над ними експериментів замість проведення таких експериментів над реальними об'єктами. Це необхідно у випадку важкодоступності реального об'єкта дослідження або небезпеки проведення експериментів над реальним об'єктом, або на етапі проектування системи. З розвитком науки і техніки кількість складних систем і процесів весь час збільшується. Разом з тим збільшується і необхідність в якісних імітаційних моделях, оскільки наявність таких моделей дає можливість проводити пограничні експерименти і перевіряти, як реальний об'єкт буде себе поводити в тій або іншій критичній ситуації.

Створення імітаційних моделей автоматизованих систем є складним технічним завданням, вирішення якого потребує великих часових і матеріальних витрат і пов'язане з великою кількістю невизначеностей, що здебільшого пов'язані з відсутністю повних даних про реальній об'єкт і неможливістю уточнення таких даних. Наявність повних даних необхідна експерту для побудови якісної адекватної моделі реальної системи з використанням дедуктивного підходу – підходу, при якому експерт, використовуючи свій досвід і свої знання про систему, створює її імітаційну модель. В умовах невизначеності вхідних даних використання дедуктивного підходу потребує великих матеріальних і часових витрат. Значний внесок у дослідження і розвиток імітаційного моделювання систем з використанням дедуктивного підходу внесли такі вітчизняні і зарубіжні вчені, як G. Gordon, М. П. Бусленко, Ю. Г. Полляк, В. М. Томашевський, В. В. Литвинов та інші.

Радикально протилежним дедуктивному підходу є індуктивний підхід до створення моделей, запропонований О. Г. Івахненко – видатним вітчизняним науковцем у галузі моделювання. Головною відмінністю індуктивного підходу від дедуктивного є можливість створення моделей з використанням даних, отриманих під час спостереження за реальним об'єктом. Запропонований О. Г. Івахненко метод дозволяє відкидати параметри, що не мають великого впливу на модель, а використання зовнішніх критеріїв дозволяє створювати об'єктивні моделі. Але отримані з використанням індуктивного підходу моделі не враховують час в явному вигляді та не відображають реальну структуру об'єкта, що моделюється. Значний внесок у дослідження і розвиток індуктивного моделювання систем здійснили такі вітчизняні і зарубіжні вчені, як: О. Г. Івахненко, В. С. Степашко, П. Юрачковський, А. А. Грешилов, Н. R. Madala, J.-A. Müller та інші.

На сьогодні існує велика кількість інструментальних засобів, що дозволяють виконувати завдання створення блочних імітаційних моделей систем. Але немає інструментальних засобів, які об'єднують у собі переваги індуктивного і дедуктивного підходу і дозволяють скоротити час на створення функціональних елементів блочної моделі. Наявні інструментальні засоби дозволяють створювати функціональні блоки імітаційних моделей тільки у вигляді таблиць або у вигляді арифметичних виразів, що не дає можливості вивчати внутрішню структуру блоків і оцінювати їх складність. Також значною є похибка методів, що використовуються в

наявних системах індуктивного моделювання. Таким чином, створення нової інформаційної технології блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації є актуальним завданням, вирішення якого допоможе створювати адекватні імітаційні моделі автоматизованих систем за рахунок об'єднання переваг індуктивного і дедуктивного моделювання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у межах пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні «Інформаційні і комунікаційні технології» (відповідно до Закону України від 12.10.2010 № 2519-17), з пріоритетних тематичних напрямів «Інтелектуальні інформаційні і інформаційно-аналітичні технології. Інтегровані системи баз даних і знань. Національні інформаційні ресурси» (відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 07.09.2011 № 942), відповідно до планів науково-дослідних робіт кафедри програмної інженерії Чернігівського національного технологічного університету і в межах держбюджетної теми Інституту проблем математичних машин і систем (шифр «Акація»).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення адекватності імітаційних моделей і зменшення похибки моделювання в умовах невизначеності вхідної інформації.

Досягнення мети передбачає вирішення таких завдань:

- створення мови блочного імітаційного моделювання, яка сумісна з графічними нотаціями в системах проектування програм і поєднує функціональні блоки в єдину імітаційну модель;
- на базі індуктивного підходу створення методу побудови аналітичних представлень автоматно-функціональних блоків, які використовуються як елементи блочних імітаційних моделей;
- розроблення загальної технології блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем;
- розроблення інструментарію блочного імітаційного моделювання систем, який включає засоби побудови автоматно-функціональних блоків і засоби керування ними у процесі імітаційного моделювання.

Об'єкт дослідження – процес розроблення блочних імітаційних моделей автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації.

Предмет дослідження – інформаційна технологія блочного імітаційного моделювання, яка включає в себе методи й інструментальні засоби створення моделей автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації.

Методи дослідження. Методи дослідження містять загальнонаукову методологію проведення досліджень і принципи системного підходу з використанням методів групового врахування аргументів і нейронних мереж для порівняння їх похибок з похибками методу побудови елементів блочних імітаційних моделей у вигляді автоматів, запропонованого в дисертаційній роботі. Методи теорії імовірності і математичної статистики використані для перевірки адекватності отриманих з використанням запропонованого методу блоків імітаційних моделей і для порівняння похибок моделювання запропонованого методу з наявними методами створення блоків імітаційних моделей. Методи об'єктно-орієнтованого аналізу і графічні нотації універсальної мови моделювання UML використані для

проектування програмного забезпечення інформаційної технології блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації, а діаграма діяльності UML використана як база для нової мови блочного імітаційного моделювання.

Теоретичною основою роботи є наукові роботи провідних вітчизняних і закордонних учених у галузі імітаційного та індуктивного моделювання, верифікації та проектування систем.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі були отримані такі наукові результати:

1. *Уперше запропоновано* метод формального опису елементів імітаційної моделі у вигляді функціональних блоків, в якому, на відміну від наявних підходів, для визначення функцій використовується метод групового врахування аргументів, що дає можливість використовувати ці імітаційні моделі при невизначеності вхідної інформації.

2. *Уперше запропоновано* метод створення елементів блочних імітаційних моделей у вигляді автоматів, який, на відміну від наявних методів, дозволяє на базі експериментальних даних створювати блоки імітаційних моделей з використанням індуктивного підходу, що зменшує похибку моделювання і дає можливість досліджувати внутрішню структуру блоків.

3. *Отримала подальшого розвитку* дворівнева архітектура систем імітаційного моделювання, в якій, на відміну від архітектур наявних систем імітаційного моделювання, виділені керівний рівень, представлений у вигляді часових мереж Петрі, й операційний рівень, представлений у вигляді мережі функціональних і автоматних перетворювачів, у тому числі, отриманих індуктивними методами, що дає можливість використовувати результати експериментів над елементами системи для побудови блоків моделі.

4. *Отримали подальшого розвитку* технології імітаційного моделювання, в яких виділені додаткові етапи, що включають використання індуктивних методів як на рівні блоків, так і на рівні імітаційної моделі в цілому під час оброблення результатів імітаційних експериментів. Це дозволяє використовувати уніфікований підхід та інструментарій на різних етапах технології моделювання.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані наукові результати в сукупності формують нову загальну інформаційну технологію блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем, яка дає можливість використовувати методи імітаційного моделювання в умовах невизначеності законів функціонування окремих елементів.

З використанням розробленої інформаційної технології блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем створені моделі, що вирішують проблеми підвищення ефективності процесів управління у відповідних предметних областях, а саме:

- модель рятувальної і сільськогосподарської операцій, в яких інструментальні засоби блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем були використані для створення моделей температурних часових рядів;

- модель автоматизованого пошуку товарів на складі, в якій інструментальні засоби блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем були застосовані для прискорення процесу створення моделі.

Отримані в роботі наукові і практичні результати були впроваджені:

- у дослідницькому проекті «Shopping Guide» в компанії SysIQ, в межах якого були створені певні імітаційні моделі керування запасами;
- у науково-дослідному системотехнічному проекті «Акація», що виконаний на замовлення Міністерства оборони України. В межах цього проекту виконані роботи із запровадження розробленої технології в центральному науково-дослідному інституті цього Міністерства та розроблено певні імітаційні моделі рятувальних операцій;
- у навчальному процесі Чернігівського національного технологічного університету під час викладання дисциплін «Технології прикладного програмування» й «Моделювання» на кафедрах інформаційних і комп'ютерних систем та програмної інженерії.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, що виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу особисто належать: метод побудови елементів блочних моделей у вигляді автоматів, орієнтований на застосування в умовах невизначеності вхідної інформації [1], моделі рятувальних і сільськогосподарських операцій, що були створені з використанням інструментальних засобів, розроблених у дисертаційній роботі [2; 3], інструментальні засоби побудови блочних імітаційних моделей, орієнтовані на застосування в умовах невизначеності вхідної інформації [4], порівняльний аналіз методів прогнозування і моделювання часових рядів і аналіз топологій нейронних мереж, придатних для моделювання часових рядів [6], аналіз можливості застосування багатощарового перцептрона і мережі Ворда для прогнозування і моделювання часових рядів [7], аналіз особливостей прогнозування і моделювання часових рядів з застосуванням нейронної мережі Ворда [8], архітектурні шаблони для реалізації методу побудови елементів блочних моделей у вигляді автоматів [9], розв'язання задачі моделювання часових рядів із застосуванням запропонованого методу побудови елементів блочних моделей у вигляді автоматів [11], порівняльний аналіз життєвих циклів програм й імітаційних моделей [12].

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи, що входять до дисертації, доповідались і обговорювались на конференціях:

1. IV Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформатика та комп'ютерні технології» (м. Донецьк, 2008 р.).

2. Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології і інформаційна безпека в науці, техніці і освіті» ІНФОТЕХ-2009 (м. Севастополь, 2009 р.).

3. III Міжнародна конференція молодих вчених «Комп'ютерні науки та інженерія» CSE-2009 (м. Львів, 2009 р.).

4. VII Міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем» МОДС-2012 (м. Чернігів, 2012 р.).

5. VIII Міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем» МОДС-2013 (м. Чернігів, 2013 р.).

6. II Міжнародна науково-технічна конференція «Обчислювальний інтелект» ОІ-2013 (м. Черкаси, 2013 р.).

7. IX Міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем» МОДС-2014 (м. Київ, 2014 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 12 наукових праць (з них одноосібних – 2): 5 статей у фахових наукових виданнях, з яких 1 стаття у закордонному виданні, що входить до міжнародних науково-метричних баз даних, та 7 публікацій у збірниках матеріалів наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та одного додатку. Повний обсяг дисертації становить 150 сторінок, у тому числі: 130 сторінок основного тексту, 70 рисунки, список використаних джерел із 100 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** проаналізовано стан проблеми, обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** проведено аналіз літературних джерел, розглянуто наявні класифікації невизначеностей і методи їх усунення, виділено проблеми блочного імітаційного моделювання, однією з яких є забезпечення можливості моделювання не тільки часових аспектів досліджуваної системи, але й функціональних перетворень, що в ній відбуваються.

Автоматизована система – це система, що складається з персоналу і комплексу засобів автоматизації його діяльності, що реалізує інформаційну технологію виконання встановлених функцій. Під час проектування автоматизованих систем виникає необхідність в імітаційному моделюванні її складових частин і автоматизованої системи в цілому, але на етапі проектування може бути невідомо, за якими законами розвиваються процеси всередині підсистем автоматизованої системи. Ще однією проблемою є те, що необхідно проводити моделювання не тільки часових аспектів, але й аспектів, пов'язаних з перетворенням інформації. Ні одна з наявних методологій імітаційного моделювання не дозволяє проводити одночасне моделювання як часових аспектів досліджуваної системи, так і функціональні перетворення, які в ній відбуваються.

Отже, було виділено такі завдання дисертаційного дослідження:

1. Створення мови блочного імітаційного моделювання, що сумісна з графічними нотаціями в системах проектування програм та поєднує функціональні блоки в єдину імітаційну модель.

2. На базі індуктивного підходу створення методу побудови аналітичних представлень автоматно-функціональних блоків для використання елементів блочних імітаційних моделей.

3. Розроблення загальної технології блочного імітаційного моделювання систем.

4. Розроблення інструментарію блочного імітаційного моделювання систем, яка включає засоби побудови автоматно-функціональних блоків, а також засоби керування ними у процесі імітаційного моделювання.

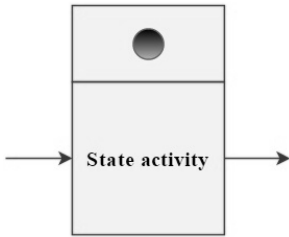
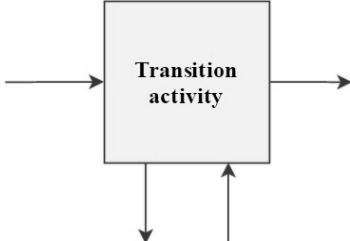
Математична постановка задачі. Нехай дана система $S(s_1, \dots, s_n)$, де s_1, \dots, s_n - блоки системи, кожен з яких містить змінні $s_i(y_1, \dots, y_l)$, послідовність яких можна представити у вигляді часового ряду, а у процесі спостереження за системою отримані часові ряди y_1, \dots, y_l , що можуть бути неповними через обмеження, що виникають під час спостереження. Необхідно побудувати таку блочну імітаційну модель $M(m_1, \dots, m_n)$, де m_1, \dots, m_n - блоки імітаційної моделі, побудовані з використанням даних спостереження за блоками реальної системи з використанням одного з наявних індуктивних методів, кожен з яких містить змінні x_1, \dots, x_k , послідовність яких можна представити у вигляді часового ряду, щоб всі відхилення змінних кожного з блоків моделі від змінних кожного з блоків реальної системи були мінімальними $\sum_{i=1}^n (s_i - m_i) \rightarrow \min$.

У **другому розділі** проаналізовано вимоги до сучасних мов імітаційного моделювання та запропоновано розширену мову блочного імітаційного моделювання на базі діаграм активностей мови UML, що розділена на два рівні: рівень управління і рівень перетворення даних.

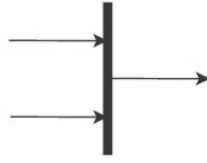
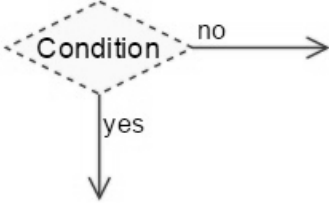
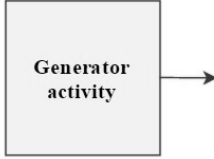
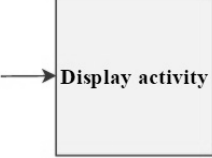
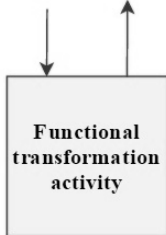
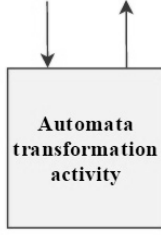

Зведена таблиця елементів запропонованої мови блочного моделювання представлена в таблиці 1.

Для рівня управління були запропоновані елементи «State activity», «Transition activity», блок «Fork-Join» і блок прийняття рішення. Елемент «State activity» призначений для накопичення маркерів даних, елемент «Transition activity» – для виконання переходів між станами системи, блок «Fork-Join» – для клонування маркера даних для одночасної його передачі в декілька блоків «State activity» і об'єднання декількох маркерів даних в один маркер за заданими правилами, блок прийняття рішення – для прийняття рішення, в який елемент «State activity» залежно від умови передати маркер даних.

Таблиця 1 – Зведена таблиця елементів запропонованої мови моделювання

Назва елемента	Позначення елемента на структурній схемі моделі
Блок «State activity»	
Блок «Transition activity»	

Продовження таблиці 1

Назва елемента	Позначення елемента на структурній схемі моделі
Блок «Fork-Join»	
Блоку прийняття рішення	
Блок «Generator activity»	
Блок «Display activity»	
Блок «Functional transformation activity»	
Блок «Automata transformation activity»	
Канал даних	

Для рівня перетворення даних були запропоновані елементи «Generator activity», «Display activity», «Functional transformation activity», «Automata transformation activity» і канал даних. Елемент «Generator activity» призначений для генерації вхідних даних, елемент «Display activity» – для відображення результатів моделювання і для ведення протоколу моделювання, елементи «Functional transformation activity» і «Automata transformation activity» – для виконання

функціональних і автоматних перетворень. Функції, що використовуються в цих елементах, відповідно до запропонованої технології, отримуються з використанням індуктивного підходу. Канал даних призначений для передачі даних як між елементами рівня управління, так і між елементами рівня перетворення даних. Узагальнена структурна схема моделювання, побудована з використанням елементів запропонованої мови моделювання, представлена на рисунку 1.

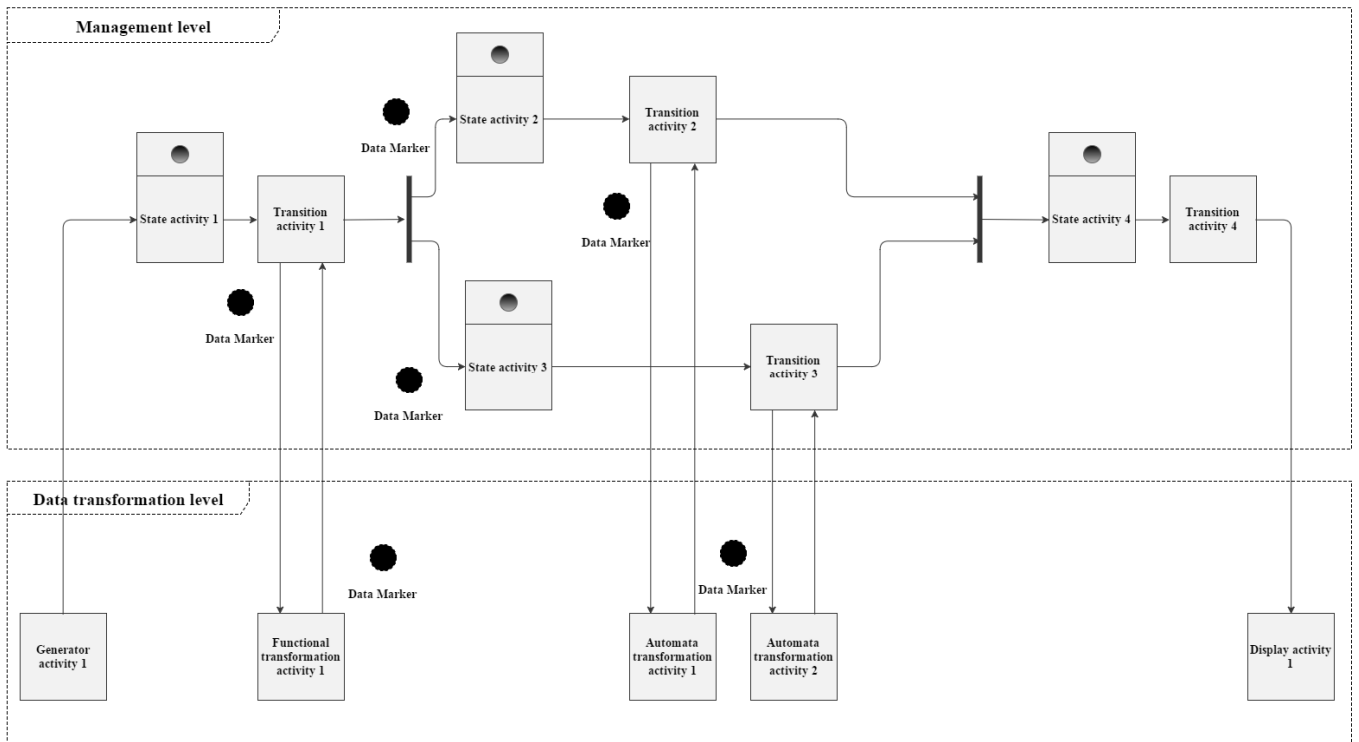


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема моделювання на базі елементів запропонованої мови

У початковий момент модельного часу елемент «Generator activity 1» проводить генерацію маркера даних, в якому упаковується вектор даних, отриманий випадковим чином. Маркер даних миттєво потрапляє в елемент «State activity 1», приєднаний до елемента «Generator activity 1» каналом даних. Якщо кількість маркерів даних в елементі «State activity» достатня, то відбувається активація переходу «Transition activity 1».

При активації переходу «Transition activity 1» відбувається передача маркера даних елементу «Functional transformation activity 1», а виконання переходу призупиняється до моменту повернення маркера даних. При надходженні маркера на вхід елемента «Functional transformation activity 1» відбувається вилучення даних з маркера, виконуються перетворення даних, необхідні для виконання функціонального перетворення, а тоді виконується саме функціональне перетворення.

Отримані дані запаковуються в маркер даних і передаються по каналу даних елементу «Transition activity 1». При отриманні маркера даних елементом «Transition activity 1» відбувається спрацювання переходу, система змінює свій стан і відбувається просування модельного часу. Маркер даних передається від елемента «Transition activity 1» на елемент «Fork-Join». Відбувається дублювання маркера даних і замість одного маркера в системі при паралельному виконанні двох процесів одночасно знаходиться 2 маркера даних. Спрацювання переходів «Transition activity

2» та «Transition activity 3» аналогічне спрацюванню переходу «Transition activity 1». Злиття даних в єдиний маркер даних відбувається в елементі «Fork-Join», а тоді маркер даних попадає в елемент «State activity 4». Спрацювання елементу «Transition activity 4» відбувається аналогічно до спрацювання переходу «Transition activity 1». Після спрацювання переходу «Transition activity 4» маркер даних потрапляє до елементу «Display activity 1». Він відповідає за відображення результатів моделювання та за ведення протоколу моделювання. Узагальнена структурна схема моделювання з урахування просторових аспектів представлена на рисунку 2. Загальну схему моделювання, призначену для моделювання просторових аспектів, можна розділити на області, в кожній з яких знаходиться трійка елементів «State activity», «Transition activity» і «Automata transformation activity» або «Functional transformation activity». Кожна з таких областей (комірок) об'єднана з іншими областями каналами даних. Передача даних між областями проходить під час спрацювання переходів. Таким чином, можна вважати, що запропоновану мову моделювання можна використовувати не тільки для моделювання часових аспектів і аспектів, пов'язаних з перетворенням даних, але й для моделювання поведінки об'єктів у просторі.

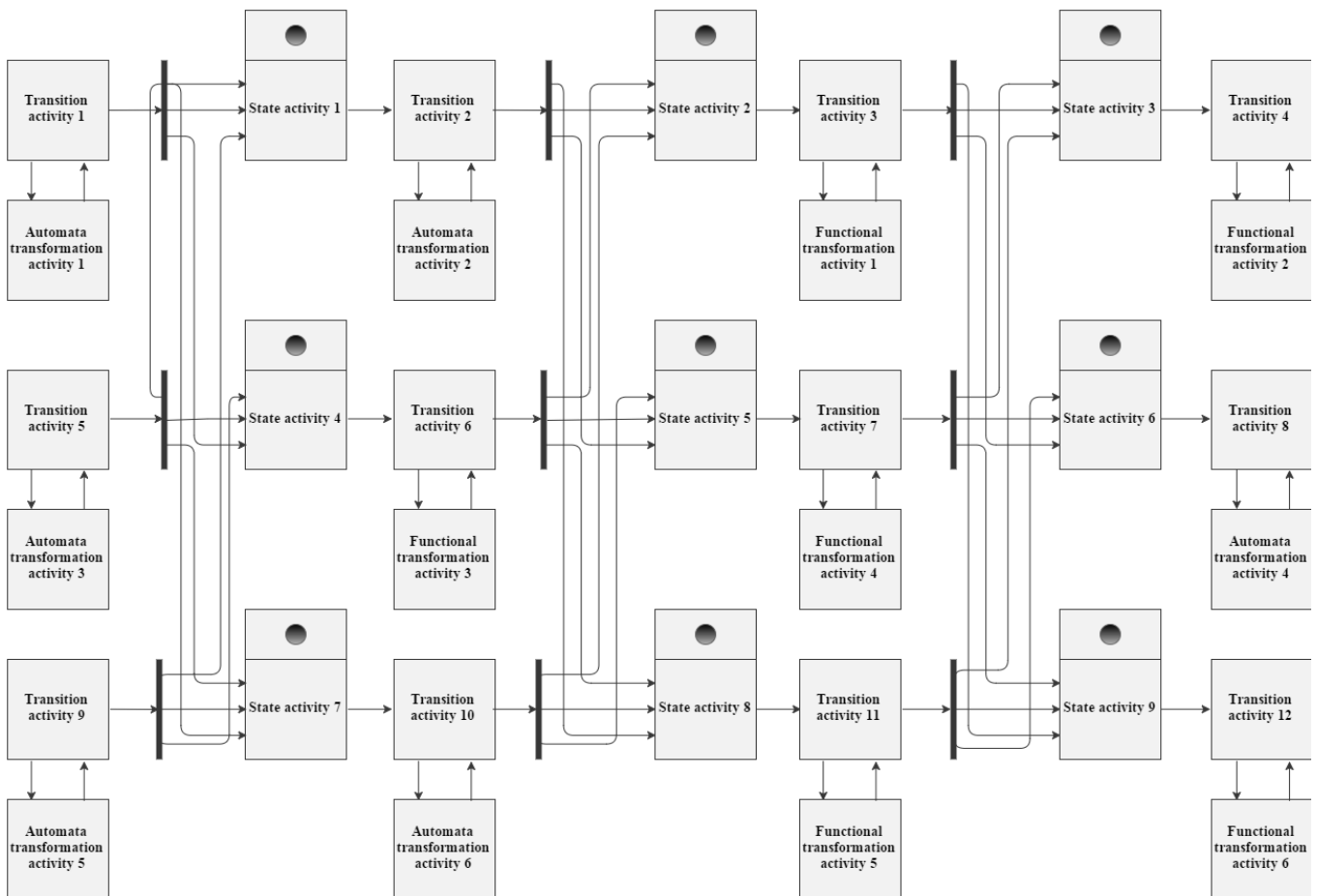


Рисунок 2 – Узагальнена структурна схема моделювання з урахуванням просторових аспектів

Загальна схема моделювання, в якій для визначення порядку перерахунку комірок просторової моделі використовується керуючий список, представлена на рисунку 3.

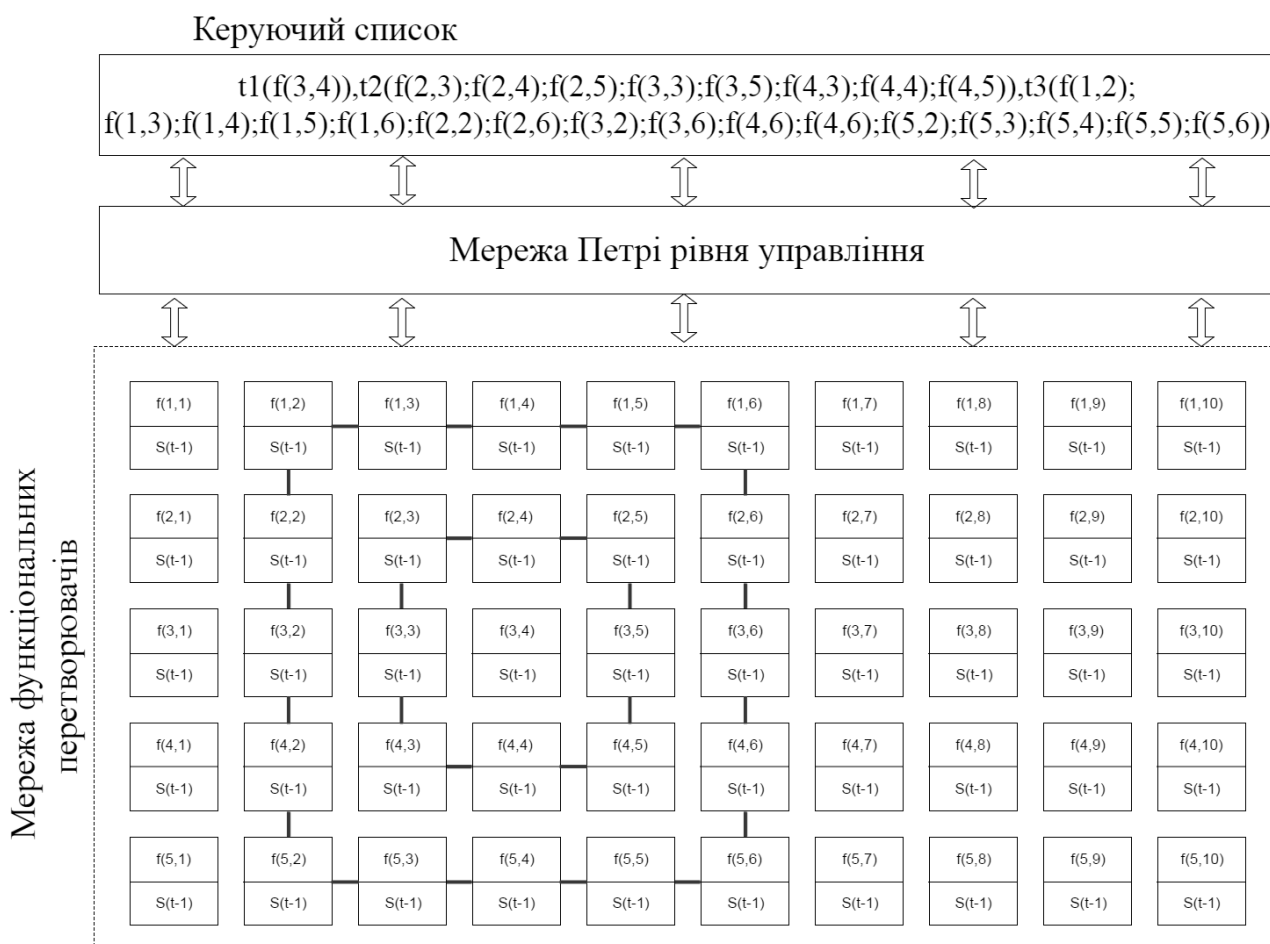


Рисунок 3 – Визначення порядку перерахунку станів комірок на базі керуючого списку

Зміна стану кожної з комірок відбувається під управлінням мережі Петрі, яка отримує координати комірок для перерахунку з керуючого списку. Зміна модельного часу такої просторової моделі відбувається послідовно відповідно до записів у керуючому списку. Керуючий список являє собою послідовність записів t_1, t_2, \dots, t_n , кожен з яких відповідає певному моменту модельного часу. Кожен запис містить послідовність комірок, стан яких необхідно перерахувати в конкретний момент модельного часу.

У **третьому розділі** розглянуто наявні методи побудови блоків імітаційних моделей у вигляді функцій і автоматів. Найбільш поширеними методами відновлення функціональної залежності є методи регресійного аналізу, але вони не дозволяють відновлювати функцію за експериментальними даними в умовах невизначеності вхідної інформації. Найбільш придатними для умов невизначеності вхідної інформації є індуктивні методи, такі як метод групового врахування аргументів, а також нейронні мережі. На рисунку 4 представлена класифікація методів відновлення функціональної залежності за експериментальними даними. Методи відновлення функціональної залежності поділяються на дві групи: статистичні методи й індуктивні методи. Застосування статистичних методів доцільне при невеликих обсягах даних. Наприклад, метод найменших квадратів доцільно застосовувати, якщо відомо, що функціональна залежність є лінійною. Можливе застосування методу найменших квадратів і для квадратичних залежностей, але складність розрахунків при цьому зростає в рази. Для відновлення нелінійних функціональних залежностей

доцільно застосовувати метод опорних векторів. У випадку, коли обсяг даних великий, а функціональні залежності є нелінійними, доцільно застосовувати індуктивні методи, такі як метод групового врахування аргументів і нейромережеві методи. Метод групового врахування аргументів використовується для отримання моделі оптимальної складності у вигляді математичного виразу, а нейромережеві методи спрямовані на створення нейронної мережі і на подальше її навчання на основі експериментальних даних. Таким чином, і метод групового врахування аргументів, і нейронні мережі можуть бути використані для апроксимації функції, що відображає функціональне перетворення.

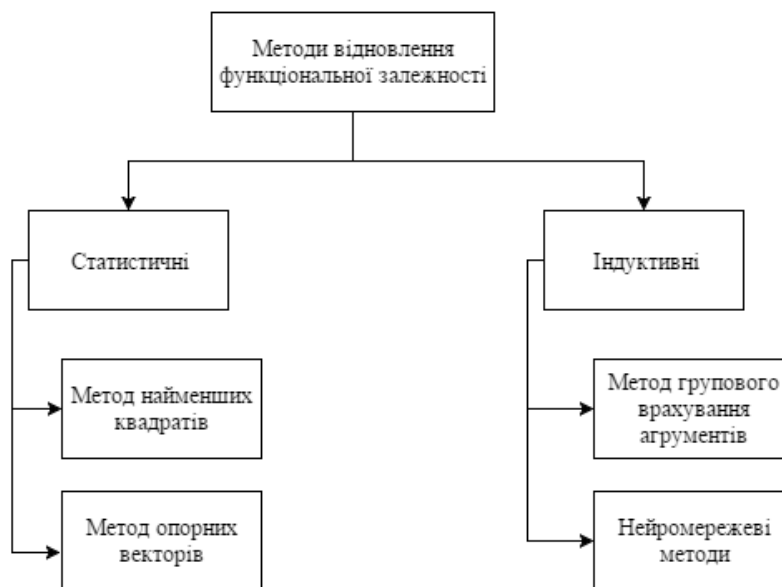


Рисунок 4 – Класифікація методів відновлення функціональної залежності

У **четвертому розділі** запропоновано метод побудови блоків імітаційних моделей у вигляді автоматів, орієнтований на застосування в умовах невизначеності вхідної інформації.

Теоретико-множинні й алгебраїчні операції над автоматами можна використовувати, щоб будувати із більш простих автоматів більш складний автомат. Найбільш придатними для ускладнення автоматів є теоретико-множинна операція об'єднання автоматів та алгебраїчна операція суми автоматів. На основі вищевикладених даних можна запропонувати новий метод, що дозволяє будувати блоки імітаційної моделі на основі даних спостереження за реальною системою у вигляді автоматів з таким алгоритмом:

1. На першому етапі побудови блока моделі у вигляді автомата відбувається розбиття початкової вибірки спостережень за реальним об'єктом на дві рівні за розміром часткової вибірки M та N , де часткова вибірка M використовується для створення автоматного блока моделі, а часткова вибірка N для перевірки похибки з використанням зовнішнього критерію (наприклад, середньоквадратичне відхилення).

2. На другому етапі відбувається розбиття часткової вибірки M на K частин. Кожна частина використовується для побудови першого ряду кінцевих автоматів.

3. На третьому етапі синтезу автоматного блока моделі на основі наближених моделей, опираючись на операції об'єднання і суми автоматів, необхідно

побудувати автомати другого ряду, які отримують застосуванням операцій суми, об'єднання або суми й об'єднання одночасно до автоматів першого ряду.

Нехай є автомати A та B . Припустимо, що $A = (X_1, Q_1, Y_1, q_1 \in Q_1, F_1(x \in X_1 / y \in Y_1))$, а $B = (X_2, Q_2, Y_2, q_1 \in Q_2, F_2(x \in X_2 / y \in Y_2))$, де X_1 і X_2 – вхідні алфавіти автоматів A і B , Q_1 і Q_2 – множини станів автоматів A і B , Y_1 і Y_2 – вихідні алфавіти автоматів A і B , q_1 – початковий стан автоматів A і B , F_1 і F_2 – функції переходів автоматів A і B , тоді автомат $C = (X, Q, Y, q_1 \in Q, F(x \in X / y \in Y))$ є об'єднанням автоматів A і B , де X – вхідний алфавіт автомата C , Q – множина станів автомата C , Y – вихідний алфавіт автомата C , q_1 – початковий стан автомата C , F – функція переходу автомата C , якщо множина X , Q і Y та відображення F визначаються за формулами:

$$X = (\{1\} \cdot X_1) \cup (\{2\} \cdot X_2),$$

$$Q = Q_1 \cup Q_2,$$

$$Y = (\{1\} \cdot Y_1) \cup (\{2\} \cdot Y_2),$$

$$Fq = F_1q \cup F_2q,$$

де $q \in Q$. У тому випадку, коли $q \notin Q_1$, вважаємо $F_1q = \emptyset$, а при $q \notin Q_2$ маємо $F_2q = \emptyset$. Приклад об'єднання двох автоматів представлений на рисунках 5 (автомат А), 6 (автомат В), 7 (результат об'єднання двох автоматів – автомат С).

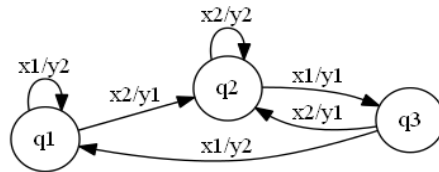


Рисунок 5 – Граф автомата А

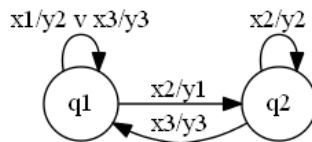


Рисунок 6 – Граф автомата В

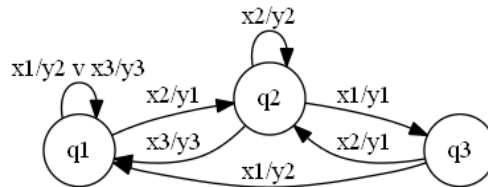


Рисунок 7 – Граф автомата С

Нехай A і B – два довільні абстрактні автомати, де $A = (X, Q, Y, q_1 \in Q, F(x \in X / y \in Y))$, а $B = (U, W, V, w_1 \in W, P(u \in U / v \in V))$, де X і U – вхідні алфавіти автоматів A і B , Q і W – множини станів автоматів A і B , Y і V – вихідні алфавіти автоматів A і B , q_1 і w_1 – початкові стани автоматів A і B , F і P – функції переходів автоматів A і B . Тоді автомат $M = (Z, H, S, h_1 \in H, R(z \in Z / s \in S))$, позначений $M = A + B$, є алгебраїчною сумою

двох автоматів, де Z – вхідний алфавіт автомата M , H – множина станів автомата M , S – вихідний алфавіт автомата M , h_1 – початковий стан автомата M , R – функція переходу автомата M , якщо:

$$Z = (\{1\} \cdot X) \cup (\{2\} \cdot U),$$

$$H = Q \cdot W,$$

$$S = (\{1\} \cdot Y) \cup (\{2\} \cdot V),$$

$$Rh = (Fq \cdot \{w\}) \cup (\{q\} \cdot Pw),$$

де $q \in Q$, $w \in W$, $h \in H$, причому $h = (q, w)$. Початковим станом автомата M служить $h_1 = (q_1, w_1)$. Приклад виконання алгебраїчної операції суми двох автоматів представлені на рисунках 8 (автомат А), 9 (автомат В), 10 (результат виконання операції додавання двох автоматів – автомат М).

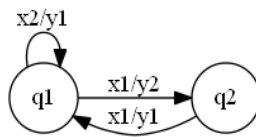


Рисунок 8 – Граф автомата А

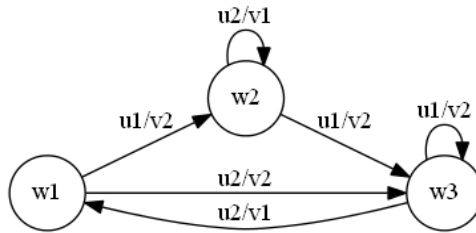


Рисунок 9 – Граф автомата В

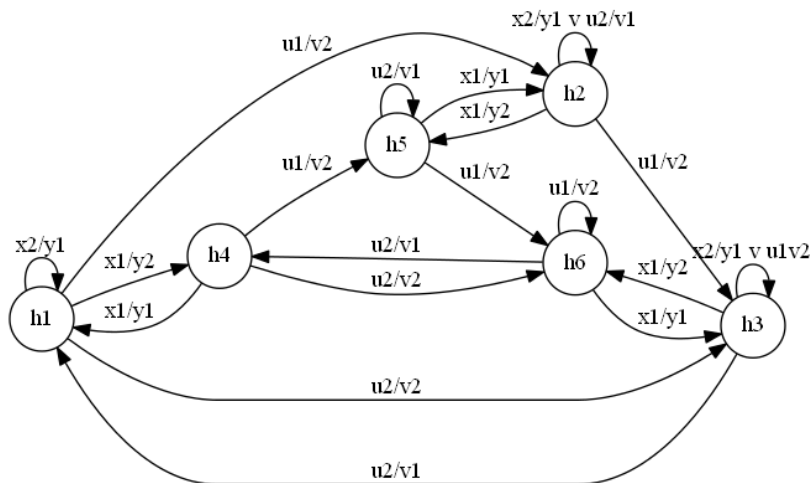


Рисунок 10 – Граф автомата М

Після отримання другого ряду автоматів необхідно розрахувати зовнішній критерій для кожного з них і відібрати F найкращих моделей, які переходять на третій ряд.

4. На четвертому етапі синтезу блока імітаційної моделі у вигляді автомата проводиться ускладнення автоматів третього ряду з використанням операцій об'єднання й суми автоматів. Виконується розрахунок зовнішнього критерію кожної з автоматних моделей третього ряду з використанням множини N .

Умовою завершення алгоритму є відношення між значеннями зовнішнього критерію на найкращих моделях $r-1$ і r рядів відповідно. Якщо значення критерію не зменшується зі збільшенням номера ряду, то на цьому послідовність дій закінчується.

На рисунку 11 представлені графіки експериментального і змодельованого температурних часових рядів з використанням запропонованого методу.

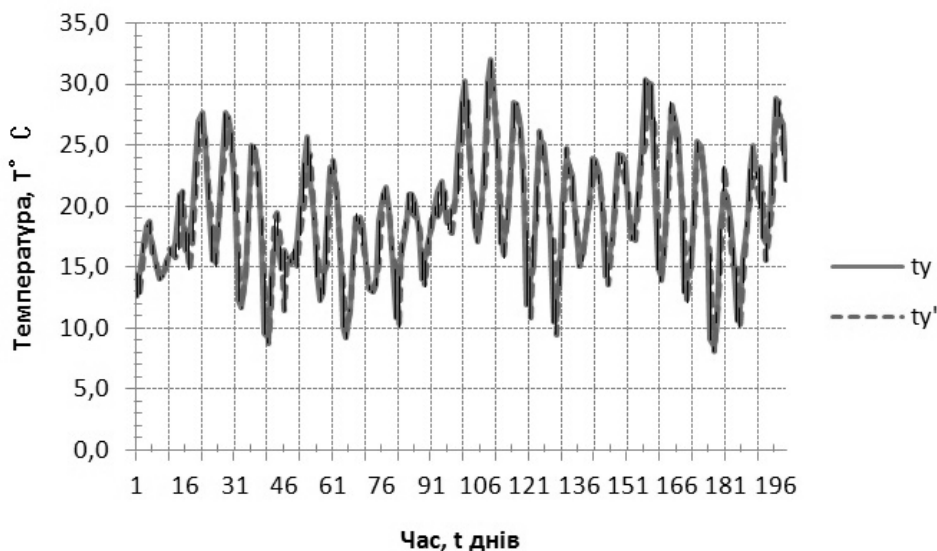


Рисунок 11 – Результати моделювання температурного часового ряду з використанням запропонованого методу (ty – система, ty' – модель системи)

Середньоквадратичне відхилення даних під час порівняння результатів, отриманих за допомогою експериментів з реальною системою та даних, одержаних у процесі моделювання, становить 10,65 градусів Цельсія. Максимальне відхилення реальних даних від даних, отриманих за допомогою моделювання, 16,33 градусів Цельсія.

На рисунку 12 представлені графіки експериментального і змодельованого з використанням методу нейронних мереж температурних часових рядів.

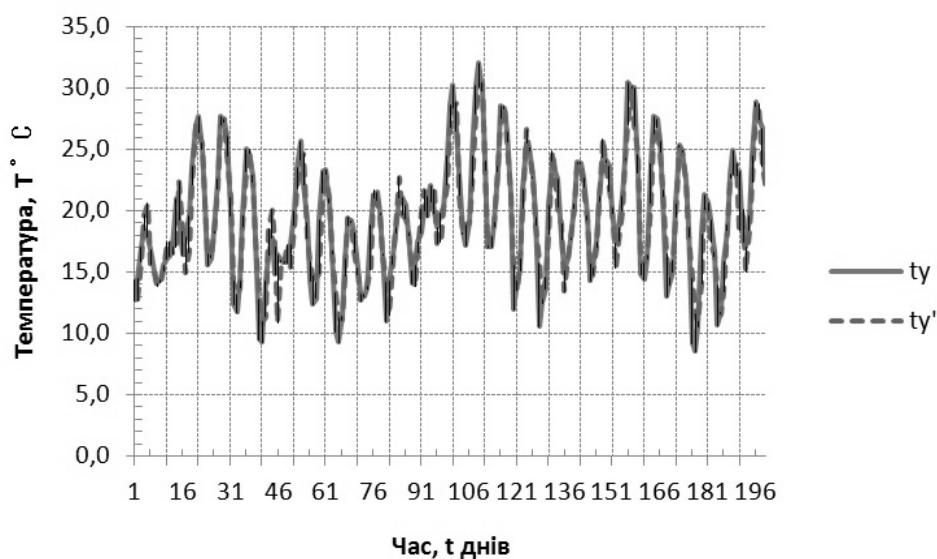


Рисунок 12 – Результати моделювання часового ряду з використанням методу нейронних мереж (ty – система, ty' – модель системи)

Середньоквадратичне відхилення даних, отриманих за допомогою експериментів з реальною системою, від даних, одержаних у процесі моделювання, становить 10,67 градусів Цельсія. Максимальне відхилення реальних даних від даних, отриманих за допомогою моделювання, 36,96 градусів Цельсія.

На рисунку 13 представлені графіки експериментального і змодельованого з використанням методу групового врахування аргументів температурних часових рядів.

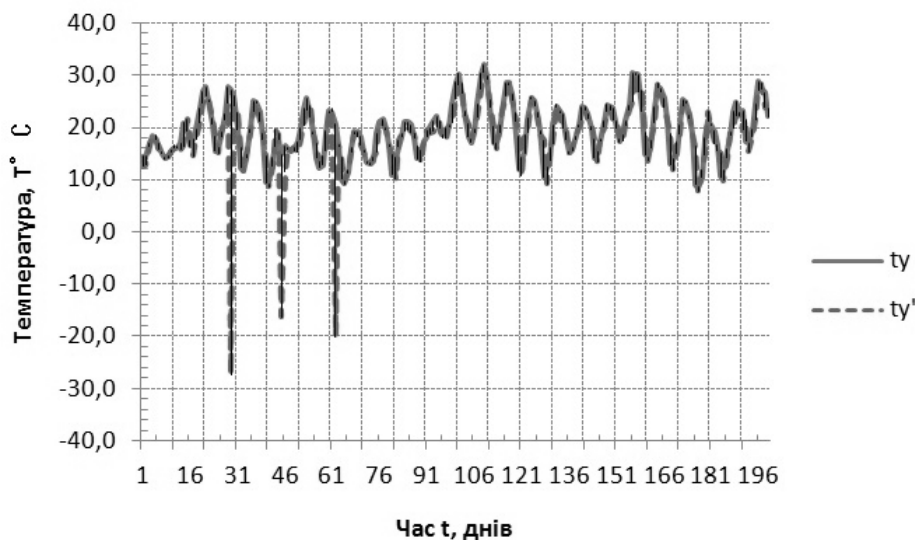


Рисунок 13 – Результати моделювання часового ряду з використанням методу групового врахування аргументів (ty – система, ty' – модель системи)

Середньоквадратичне відхилення даних, отриманих за допомогою експериментів з реальною системою, від даних, одержаних у процесі моделювання, становить 10,65 градусів Цельсія. Максимальне відхилення реальних даних від даних, отриманих за допомогою моделювання, 38,53 градусів Цельсія.

Таким чином, застосування методу побудови блоків моделі у вигляді автоматів із застосуванням індуктивного підходу дозволяє зменшити максимальне відхилення реальних даних від змодельованих у порівнянні з нейромережними методами на 28 % і в порівнянні з методом групового врахування аргументів – на 27 % і дає можливість досліджувати внутрішню структуру блоків.

У **п'ятому розділі** запропонована архітектура інструментальних засобів інформаційної технології блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації, описано розроблених інструментальні засоби імітаційного моделювання, представлена структура інформаційної технології блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем та загальні рекомендації щодо її застосування, а також проведено порівняння життєвих циклів створення моделей і програм. Розглянуто моделі життєвих циклів, які найкращим чином підходять для розроблення блочних імітаційних моделей.

На рисунку 14 представлена архітектура системи блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації. Інструментальні засоби інформаційної технології використовують як основу платформу Eclipse, яка містить у собі функції для редагування коду програм (Workspace), функції для організації командної роботи над проектом (Team).

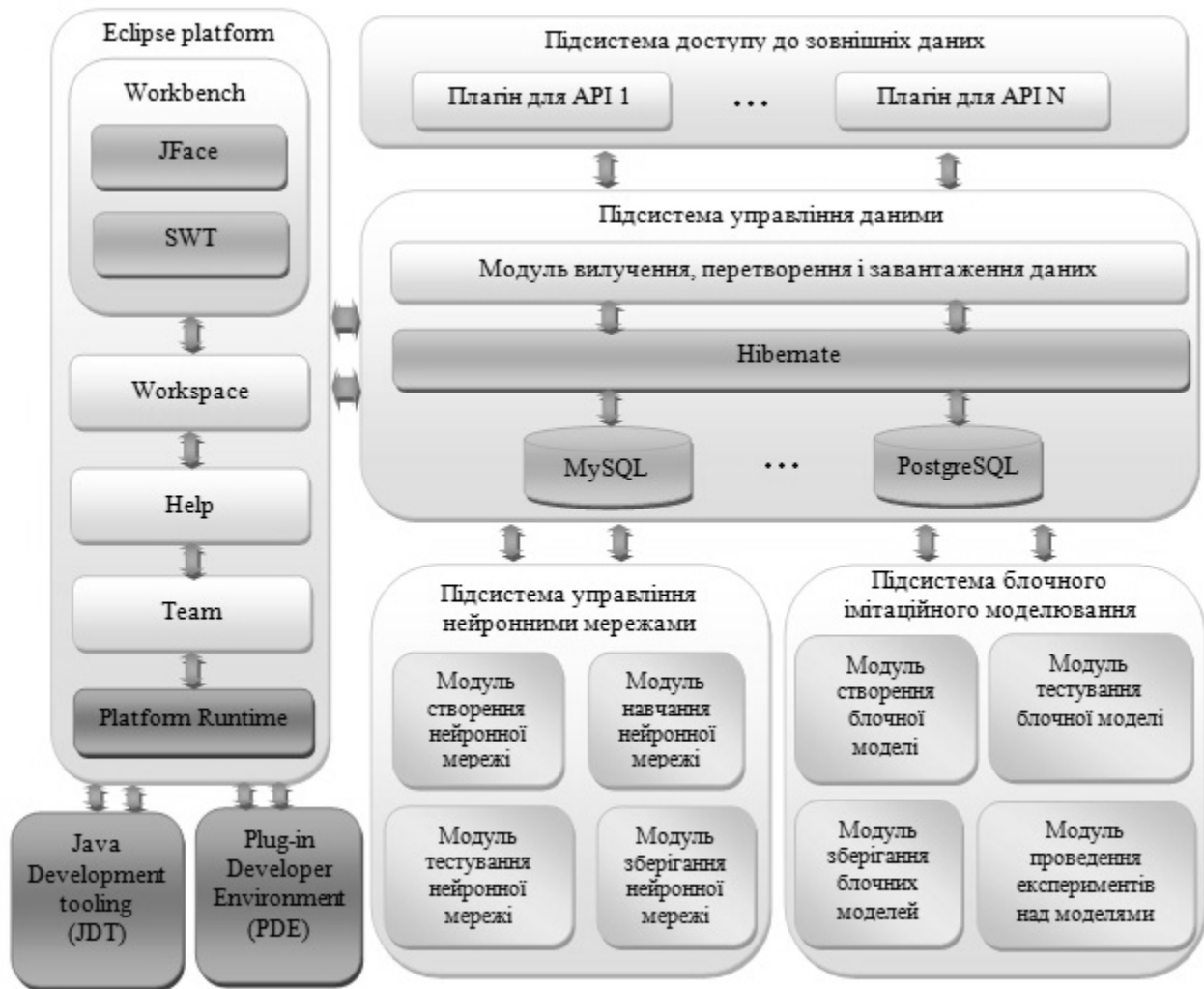


Рисунок 14 – Архітектура системи блочного імітаційного моделювання в умовах невизначеності вхідної інформації

Існує велика кількість плагінів, що можуть значно розширити можливості середовища розроблення, наприклад, за допомогою плагінів можна додати функції збереження проміжних результатів у систему контролю версій. Підсистема доступу до зовнішніх даних забезпечує механізм плагінів для додання у процесі роботи плагінів для доступу до різних джерел даних у вигляді файлів різних форматів і даних, розміщених у мережі Інтернет.

Підсистема управління нейронними мережами забезпечує функції створення нейронної мережі, її навчання, тестування і збереження нейронної мережі. Підсистема блочного імітаційного моделювання забезпечує функції створення імітаційної моделі у вигляді автомата із застосуванням запропонованого методу, функції тестування, збереження та проведення експериментів над імітаційними моделями.

На рисунку 15 представлена структура інформаційної технології блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації.

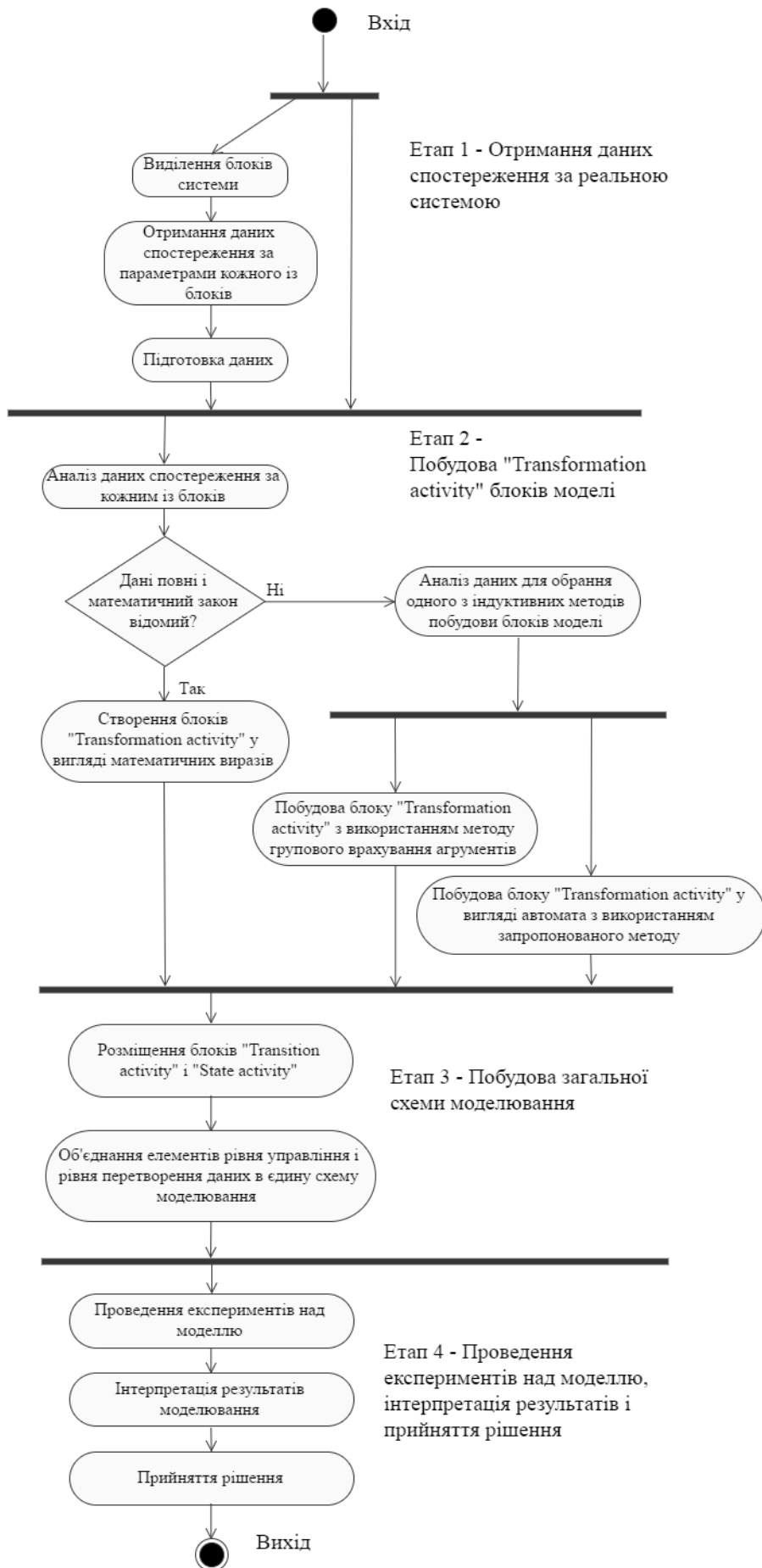


Рисунок 15 – Структура інформаційної технології блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації

Інформаційна технологія включає такі етапи:

Перший етап. Отримання даних спостереження за реальною системою. На цьому етапі система, для якої створюється модель, розбивається на блоки і над кожним із блоків проводяться спостереження.

Другий етап. Побудова з використанням даних спостереження за кожним із блоків елементів «Transformation activity». Якщо закон функціонування простий і відомий, то блок створюється у вигляді математичного виразу, якщо ж закон функціонування складний, то блок створюється з використанням індуктивного підходу.

Третій етап. Побудова загальної схеми моделювання. Елементи рівня перетворення і рівня управління об'єднуються в одну схему моделювання.

Четвертий етап. Проведення експериментів, інтерпретація результатів моделювання і прийняття рішення.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі сформульовано та розв'язано науково-практичне завдання розроблення інформаційної технології блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації.

Під час досягнення поставленої мети, яке полягає у підвищенні адекватності блочних імітаційних моделей автоматизованих систем, у процесі дослідження було отримано такі результати:

1. Створена мова блочного імітаційного моделювання, яка сумісна з графічними нотаціями в системах проектування програм і поєднує функціональні блоки в єдину імітаційну модель. У новій мові блочного імітаційного моделювання виділені рівень управління, що побудований на базі мережі Петрі, та операційний рівень, представлений у вигляді мережі функціональних і автоматних перетворювачів, у тому числі, отриманих індуктивними методами, що дає можливість використовувати результати експериментів над елементами системи для побудови блоків моделі.

2. На базі індуктивного підходу створений метод побудови аналітичних представлень автоматно-функціональних блоків, які використовуються як елементи блочних імітаційних моделей. Новий метод дозволяє створювати блоки імітаційної моделі у вигляді автоматів, що зменшує максимальну похибку моделювання в порівнянні з нейромережними методами на 28 % і в порівнянні з методом групового врахування аргументів – на 27 % і дає можливість досліджувати внутрішню структуру блоків.

3. Розроблена загальна технологія блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем. Уперше виконаний порівняльний аналіз загальних технологій проектування програм і технологій створення програм імітаційного моделювання, що привело до взаємного обміну підходами до розроблення в цих двох парадигмах.

4. Розроблено інструментарій блочного імітаційного моделювання систем, який включає засоби побудови автоматно-функціональних блоків і засоби керування ними у процесі імітаційного моделювання.

Наведені вище результати у своїй сукупності формують нову загальну інформаційну технологію блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації, яка дає можливість пришвидшити процес розроблення імітаційних моделей, а побудова блоків з використанням індуктивних методів підвищує адекватність імітаційних моделей.

Запропоновану інформаційну технологію можна застосовувати в сільському господарстві, а також у тих галузях людської діяльності, які потребуються створення автоматизованих систем, для побудови блочних імітаційних моделей автоматизованих систем з чітко визначеною блочною структурою.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Создание блочных моделей систем и процессов с использованием метода группового учета аргументов / В. В. Литвинов, А. А. Задорожний // Математические машины и системы. – 2012. – № 2. – С. 107–116.

2. Агентные модели операций / В. В. Литвинов, А. А. Задорожний // Математические машины и системы. – 2014. – № 1. – С. 114–121.

3. Simulation of weather in agent models / Vitaliy Lytvynov, Artem Zadorozhniy // Information models and Analyses. – 2014. – № 1. – P. 10–15.

4. Инструментальные средства создания моделей в условиях неполноты данных / В. В. Литвинов, А. А. Задорожний // Математические машины и системы. – 2014. – № 4. – С. 60–71.

5. Классификация и методы устранения неопределенностей в моделях при индуктивном и дедуктивном подходах к их созданию / А. А. Задорожний // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – Чернігів: ЧНТУ, 2014. – № 2. – С. 159–168.

6. Анализ методов прогнозирования с применением искусственных нейронных сетей / А. А. Задорожний, Д. В. Победа // Информационные и компьютерные технологии – 2008: материалы IV науч.-техн. конф. студ., асп. и мол. учен. (г. Донецк, 25–27 нояб. 2008 г.). – Донецк: ДонНТУ, 2008. – С. 382–385.

7. Применение сети Ворда и многослойного персептрона для прогнозирования / А. А. Задорожний, Д. В. Победа // Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании «ИНФОТЕХ-2009»: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Севастополь, 7–12 сент. 2009 г.). – Севастополь: СевНТУ, 2009. – С. 218–221.

8. Прогнозування з застосуванням мережі Ворда та багатошарового персептрона / А. О. Задорожній, Д. В. Победа // Комп'ютерні науки та інженерія: матеріали III Міжнар. конф. мол. вчен. CSE-2009 (м. Львів, 14–16 трав. 2009 р.). – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2009. – С. 137–138.

9. Реализация алгоритма создания блочных моделей систем и процессов с использованием метода группового учета аргументов / В. В. Литвинов, А. А. Задорожний // Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС-2012: VII Міжнар. наук.-практ. конф.: тези доп. (м. Чернігів, 25–28 черв. 2012 р.). – Чернігів: ЧДТУ, 2012. – С. 280–284.

10. Агентный подход к вербальному описанию моделей с взаимодействующими стратегиями / А. А. Задорожний // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): матеріали II Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Черкаси, 14–18 трав. 2013 р.). – Черкаси: Маклаут, 2013. – С. 177–178.

11. Агентные модели операций / В. В. Литвинов, А. А. Задорожний, В. В. Бегун // Математичне та імітаційне моделювання систем: VIII Міжнар. наук.-практ. конф. : тези доп. МОДС-2013 (м. Чернігів, 24–28 черв. 2013 р.). – Чернігів: ЧДТУ, 2013. – С. 279–283.

12. Сравнение этапов жизненного цикла программ и моделей / В. В. Литвинов, А. А. Задорожний // Математичне та імітаційне моделювання систем: IX Міжнар. наук.-практ. конф.: тези доп. МОДС-2014 (м. Київ, 23–27 черв. 2013 р.). – Чернігів: ЧДІЕУ, 2014. – С. 309–313.

АНОТАЦІЯ

Задорожній А.О. Інформаційна технологія блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Чернігівський національний технологічний університет, Чернігів, 2016.

У дисертаційній роботі сформульовано та виконано науково-практичне завдання, яке полягає в розробці інформаційної технології блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації.

Уперше запропоновано метод формального опису елементів імітаційної моделі у вигляді функціональних блоків, в якому, на відміну від наявних підходів, для визначення функцій використовується метод групового врахування аргументів, що дає можливість використовувати моделі при невизначеності вхідної інформації.

Уперше запропоновано метод створення елементів блочних імітаційних моделей у вигляді автоматів, який, на відміну від наявних методів, дозволяє на базі експериментальних даних створювати блоки імітаційних моделей з використанням індуктивного підходу, що зменшує похибку моделювання і дає можливість досліджувати внутрішню структуру блоків.

Отримала подальшого розвитку дворівнева архітектура систем імітаційного моделювання, в якій, на відміну від архітектур наявних систем імітаційного моделювання, виділені керуючий рівень, представлений у вигляді часових мереж Петрі, й операційний рівень, представлений у вигляді мережі функціональних і автоматних перетворювачів, у тому числі, отриманих індуктивними методами, що дає можливість використовувати результати експериментів над елементами системи для побудови блоків моделі.

Отримали подальшого розвитку технології імітаційного моделювання, в яких виділені додаткові етапи, що включають використання індуктивних методів як на рівні блоків, так і на рівні імітаційної моделі в цілому при обробці результатів імітаційних експериментів. Це дозволяє використовувати уніфікований підхід та інструментарій на різних етапах технології моделювання.

Наведені вище наукові результати у своїй сукупності формують нову загальну інформаційну технологію блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем, яка дає можливість використовувати методи імітаційного моделювання в умовах невизначеності законів функціонування окремих елементів.

Ключові слова: імітаційне моделювання, блочне моделювання, індуктивне моделювання, невизначеність входної інформації, метод групового врахування аргументів, автомат.

АННОТАЦІЯ

Задорожний А.А. Информационная технология блочного имитационного моделирования автоматизированных систем в условиях неопределенности входной информации. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Черниговский национальный технологический университет, Чернигов, 2016.

В диссертационной работе сформулировано и выполнено научно-практическое задание, которое заключается в разработке информационной технологии блочного имитационного моделирования автоматизированных систем в условиях неопределенности входной информации.

Впервые предложен метод формального описания элементов имитационной модели в виде функциональных блоков, в котором, в отличие от существующих подходов, для определения функций используется метод группового учета аргументов, что дает возможность учитывать неопределенность входной информации.

Впервые предложен метод создания элементов блочных имитационных моделей в виде автоматов, который, в отличие от существующих методов, позволяет на базе экспериментальных данных создавать блоки имитационной модели с использованием индуктивного подхода, что уменьшает погрешность моделирования и дает возможность исследовать внутреннюю структуру блоков.

Получила дальнейшее развитие двухуровневая архитектура систем имитационного моделирования, в которой по аналогии с автоматными теориями выделены операционная и управляющая части и, в отличие от архитектур существующих систем имитационного моделирования, управляющая часть представлена в виде временных сетей Петри, а на уровне операционной части – сеть функциональных и автоматных преобразователей, в том числе полученных индуктивными методами, что дает возможность использовать результаты экспериментов над элементами системы и таблицы представления функций для построения блоков модели. Создан язык блочного имитационного моделирования, совместимый с графическими нотациями в системах проектирования программ и объединяет функциональные блоки в единую имитационную модель.

Получили дальнейшее развитие технологии имитационного моделирования, в которых выделены дополнительные этапы, которые включают использование индуктивных методов как на уровне блоков, так и на уровне имитационной модели в целом при обработке результатов имитационных экспериментов, что позволяет

использовать унифицированный подход и инструментарий на разных этапах технологии моделирования.

Предложенную информационную технологию можно применять в сельском хозяйстве, а также в тех отраслях человеческой деятельности, которые нуждаются в создании автоматизированных систем, для построения блочных имитационных моделей автоматизированных систем с четко определенной блочной структурой.

Приведенные выше научные и практические результаты в своей совокупности формируют новую информационную технологию блочного имитационного моделирования автоматизированных систем.

Ключевые слова: имитационное моделирование, блочное моделирование, индуктивное моделирование, неопределенность входной информации, метод группового учета аргументов, автомат.

ABSTRACT

Zadorozhnii A.O. Information technology of block simulation of automated systems in conditions of uncertainty of the input information. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on specialty 05.13.06 – information technologies. – Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, 2016.

Scientific-practical task of development of information technology of block simulation of automated systems in conditions of uncertainty of the input information has been formulated and implemented in this dissertation.

The method of formal description of elements of imitation model in the form of functional blocks in which in contrast to existing approaches the group method of data handling is used for defining functional blocks was proposed in first time which makes it possible to take into account the uncertainty of the input data.

The method of creation of elements of block imitation models in form of automats which in contrast to existing methods allow creating blocks of imitation models which are base on experimental data with using inductive approach was proposed in first time which reduces uncertainty of simulation and provides the opportunity to explore the internal structure of the blocks.

Two layers architecture of systems of simulation in which analogically with automata theories are allocated operating and control parts has been further developed and in contrast to architectures existing systems of simulation operation part represented with time Petri networks and on the control level is network of functional and automatic converters obtained with using inductive methods which makes it possible to use the results of experiments on the system elements and table representations of functions to build model blocks.

Technologies of simulation in which allocated additional steps which include usage of inductive methods on the level of blocks and on the level of imitation models as well during processing of results of imitation experiments have been further developed and it allows using a unified approach and tools at different stages of simulation technology.

Key words: simulation, block modeling, inductive modeling, uncertainty of input data, group method of data handling, automat.

Підписано до друку 31.03.2016. р. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Друк різнографія. Умов. др. арк. 0,9.
Тираж 100 пр. Замов. № 316/16.

Редакційно-видавничий відділ
Чернігівського національного технологічного університету
14027, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК №4802 від 01.12.2014 р.