

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

ТРОХИМЧУК СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 519.7:007.52; 004.8

**ЗНАННЯ-ОРІЄНТОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ І МОДЕЛІ
АНАЛІЗУ СКЛАДНИХ СИСТЕМ**

05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Кучеренко Євген Іванович,

Харківський національний університет радіоелектроніки,
професор кафедри штучного інтелекту.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент

Шостак Ігор Володимирович,

Харківський національний аерокосмічний університет ім.
М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
Міністерство освіти і науки України, професор кафедри
програмної інженерії;

кандидат технічних наук, доцент

Олійник Андрій Олександрович,

Запорізький національний технічний університет,
Міністерство освіти і науки України, доцент кафедри
програмних засобів.

Захист відбудеться «_____» _____ 2015 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою:
61166, м. Харків, просп. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14.

Автореферат розісланий «_____» _____ 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.А. Винокурова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розробка знання-орієнтованих інтелектуальних методів і моделей аналізу складних об'єктів є важливою складовою технологічних процесів машинобудування та приладобудування, що функціонують за умов невизначеності. Знання-орієнтовані методи спрямовані на моделювання й обробку детермінованих, імовірнісних і нечітких знань, як фактора підвищення якості виробів.

Значний внесок у створення й розвиток методів обчислювального інтелекту, орієнтованих на знання-орієнтовані технології внесли вчені Є.В. Бодянський, Ю.В. Крак, О. Г. Руденко, А.Л. Єрохін, L.A. Zadeh, R.R. Yager, E.H. Mamdani, M. Sugeno, Н. Р. Lipp та інші, у створення, дослідження й впровадження моделей інтелектуального аналізу даних (Data mining) – В.І. Литвиненко, О.І. Міхальов, W. Pedrycz, L.H. Prade та ін.

Однак існуючі підходи, володіючи глибиною досліджень із використанням сучасного математичного апарату, не завжди охоплюють глибину проблеми на основі інтеграції знань. Особливо це важливо в унікальних технологіях, коли рішення приймаються за умов невизначеності, жорстких обмежень на часові та матеріальні ресурси.

Тому актуальним є розробка, розвиток і вдосконалення нових інтелектуальних методів, моделей і знання-орієнтованих методів та моделей інтелектуального аналізу даних і знань у сучасних виробництвах. Вирішення актуальних задач інтелектуального аналізу стану складних систем, підвищення достовірності та якості прийнятих рішень і є змістом даних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до координаційних планів Міністерства освіти і науки України та Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ) відповідно до державних науково-технічних програм у рамках науково-дослідних робіт (НДР):

– комплексної держбюджетної НДР № 245 «Еволюційні гібридні системи обчислювального інтелекту зі змінною структурою для інтелектуального аналізу даних» (№ ДР 0110U000458). Здобувачем, як виконавцем, розроблена нова модель процесів. Набула подальшого розвитку модель процесів, яка, на відміну від існуючих, функціонує у нечіткому просторі станів і додатково включає модулі адаптації та аналізу функцій тестування компонент системи для цілей підвищення якості функціонування об'єкта;

– держбюджетної НДР №273 «Нейро-фаззі системи для поточної кластеризації і класифікації послідовностей даних за умов їх викривленості відсутніми й аномальними спостереженнями» (№ ДР 0113U000361). Здобувачем, як виконавцем, розроблено нові методи й моделі, що засновані на інтеграції мережних моделей, нечітких правилах продукцій і штучних нейронних мереж, визначено обмеження адекватності методу в програмному середовищі FPN (Fuzzy Petri Nets) і його обчислювальну складність, яка близька до квадратичної.

У рамках виконуваних НДР здобувачем вирішено також завдання практичної реалізації й впровадження на реальних об'єктах.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка й дослідження знання-орієнтованих нових методів і моделей інтелектуального аналізу даних у складних об'єктах для підвищення якості й достовірності відповідальних рішень.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язувалися такі наукові задачі:

- аналіз особливостей функціонування виробничих систем на основі інтелектуальних методів і моделей аналізу й управління якістю складних об'єктів;
- розробка нового інтелектуального методу оцінювання якості виробів на основі аналізу показників надійності компонент об'єкта;
- розробка нової гібридної моделі зниження рівня невизначеності й підвищення якості створюваних об'єктів і систем;
- розробка й розвиток нового інтелектуального методу оцінювання якості складних об'єктів на основі знання-орієнтованих підходів Заде – Мамдані;
- розробка та розширення нової знання-орієнтованої гібридної моделі на основі інтеграції часткових моделей і адаптивних підходів до тестування компонент-системи;
- розробка й удосконалювання структури програмних засобів реалізації функцій інтелектуального аналізу складних об'єктів;
- розв'язання прикладних задач інтелектуального аналізу станів складного об'єкта.

Об'єкт дослідження – знання-орієнтовані процеси у складних системах.

Предмет дослідження – знання-орієнтовані інтелектуальні методи й моделі аналізу складних систем.

Методи дослідження. Для розв'язання задач, поставлених у роботі, використовувалися методи: основи теорії нечітких множин – для формування нових гібридних моделей і процесів нечіткого логічного виведення; основи теорії розширених мереж Петрі – для обґрунтування нових гібридних моделей і методів на основі інтеграції розширень мереж Петрі й знання-орієнтованих підходів; елементи теорії штучних нейронних мереж – для обґрунтування нових методів і гібридних моделей, а також процедур навчання штучних нейронних мереж.

Наукова новизна одержаних результатів визначена в тому, що:

- вперше запропоновано новий метод реалізації процесів інтелектуального управління якістю виробів у складних системах, який ґрунтується на визначенні рівня якості та показників вартості виробів та цілеспрямованого тестування об'єкта за умов апріорної та поточної невизначеності, що дозволили підвищити ефективність складних систем;
- вперше запропоновано нову гібридну модель процесів, що ґрунтується на інтеграції розширених імовірнісних та нечітких мереж Петрі, модифікованих нечітких правилах продукцій на знаннях та штучних нейронних мережах, як засобів вибору альтернатив на множині позицій мережі Петрі в задачах нечіткого логічного виведення, що дозволяє розширити функціональні можливості моделі;

– набув подальшого розвитку метод оперативного аналізу даних у нечіткому просторі станів, який, на відміну від існуючих, дозволяє функціонування як при імовірнісному оцінюванні, так і при нечітких вихідних даних нечіткого логічного виведення Мамдані та Такагі-Сугено-Канга. Визначено межі адекватності методу у програмному середовищі FPN та його обчислювальну складність, що є близькою до квадратичної та дозволяє розширити функціональні можливості методу;

– набула подальшого розвитку модель інтелектуальних процесів, яка, на відміну від існуючих, функціонує у нечіткому просторі станів та додатково включає модулі адаптації та аналізу функцій тестування компонент системи для мети підвищення якості функціонування об'єкта, що дало змогу суттєво скоротити часові показники реалізації процесів.

Практична цінність отриманих результатів. Розроблені й обґрунтовані в дисертаційній роботі нові методи та гібридні моделі є теоретичною базою розв'язання задач моделювання, оперативного аналізу й оцінки простору станів складних об'єктів з метою виявлення, локалізації і усунення неадекватностей, підвищення якості виробів складних об'єктів.

Запропоновано й обґрунтовано:

– алгоритмічну базу розв'язання прикладних задач аналізу й управління якістю виробів у виробничих системах;

– розширені функціональні можливості програмного середовища FPN (Fuzzy Petri Nets);

– розроблені засоби аналізу й моделювання виробничих процесів PRMA v.1 (Process Modeling and Analysis), які дозволяють ефективно контролювати інтелектуальні технологічні процеси складних об'єктів.

Застосування запропонованих інтелектуальних методів і моделей дозволяє підвищити ефективність застосування нових архітектур методів, моделей і алгоритмів, що функціонують у нечіткому просторі станів для розв'язання задач інтелектуального аналізу даних і знань у складних системах різної фізичної природи. Отримані теоретичні результати були обґрунтовані, досліджені й впроваджені у виробництво, де вони показали свої переваги й значущість над відомими рішеннями.

Такий комплекс дій призвів до підвищення якості виробів, скорочення часових витрат у виробничих процесах підприємств «Центр СПБ» (м. Харків) та ТОВ «ІПРІС-ПРОФІЛЬ» (м. Харків) до 10%, що підтверджено актами: акт впровадження від 18.09.2014р.; акт впровадження від 29.10.2014 р., впровадженням результатів дисертаційних досліджень у навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки, Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків), Харківського Машинобудівного коледжу, що підтверджене відповідними актами впровадження: акт від 21.05.2014р.; акт від 26.06.2014р.; акт від 12.06.2014 р.

Особистий внесок здобувача полягає у тому, що наукові положення, висновки та рекомендації, що лежать в основі дисертаційної роботи, були сформульовані, розроблені й досліджені ним самостійно. У публікаціях,

написаних у співавторстві, здобувачеві належать: [1] – проаналізований стан проблеми, сформульований і виконаний аналіз критеріїв розв'язку актуальних завдань оцінювання якості процесів; [2] – запропоновані нові гібридні моделі процесів управління якістю промислових підприємств; [3] – запропоновані нові підходи щодо реалізації нечітких моделей у методах нечіткого логічного висновку Мамдані; [4] – запропонований новий інтелектуальний метод моделювання складних процесів; [5] – запропоновані розширення класів моделей обліку і реалізації виробів в умовах невизначеності; [6] – запропоновані засоби та результати тестування класів моделей реалізації виробів складних об'єктів в умовах невизначеності; [7] – запропоноване й обґрунтоване розширення нового методу оцінювання процесів у машинобудуванні; [8] – розглянуті й обґрунтовані критерії і вимоги до носіїв інформації в знання-орієнтованих технологіях; [9] – апробовані інтелектуальні технології управління якістю сучасних виробництв; [10] – запропоновані нові знання-орієнтовані нечіткі методи в управлінні інтелектуальними процесами.

Апробація результатів дисертаційних досліджень. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на міжнародних конференціях і міжнародному форумі: «МНС України: сучасний стан і проблемні питання страхового фонду документації, перспективи розвитку й взаємодії» (Харків, 2008); «Інформаційні системи й технології» (Євпаторія – Харків, 2013); «Сучасні інформаційні технології в економіці й управлінні підприємствами, програмами й проектами» (с. Рибаче, 2013); «Радіоелектроніка й молодь в XXI столітті» (Харків, 2014).

Публікації. Основні положення і результати дисертації опубліковано в 11 наукових роботах, з них: 1 монографія, 6 статей у наукових виданнях, які входять до переліку фахових наукових видань України з технічних наук (з них 2 статті у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз: Scopus, INSPEC, Index Copernicus), 1 стаття у науково-виробничому журналі, 3 тези доповідей на міжнародних наукових конференціях і міжнародному форумі.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Робота містить 64 рисунки (з них – 14 рисунків на окремих аркушах), 2 таблиці, а також 1 додаток на 5 сторінках та список використаних джерел з 122 найменувань на 13 сторінках. Загальний обсяг роботи складає 165 сторінок, у тому числі 130 сторінок основного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, наведено відомості щодо зв'язку дисертації з планами організації, де виконана робота, формулюється мета та завдання дослідження, вказується об'єкт, предмет і методи досліджень, визначається наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок автора в роботи, виконані у співавторстві, апробація результатів дисертації та перелік публікацій за темою дисертації.

У першому розділі проведено аналіз відомих методів, моделей та технологій знання-орієнтованих інтелектуальних засобів аналізу (Data mining) у складних виробничих системах. Виконано аналітичний огляд існуючих підходів та проблем моделювання нечітких процесів оперативного оцінювання станів складних об'єктів, що функціонують за умов невизначеності, на основі нечітких гібридних моделей та інтелектуальних методів. Аналіз існуючих результатів показав, що в розглянутій області ще не запропоновано таких інтелектуальних рішень, які б задовольнили широкий клас розв'язуваних задач.

Нехай існує просторово розподілений об'єкт O , що складається з компонент

$$\{A_\alpha\} \supseteq \{A(O)_\alpha\}, \alpha \in A, \quad (1)$$

де $A(O)_\alpha$ – множина об'єктів, α – елемент індексів множини, A – множина індексів об'єктів.

Компоненти об'єкта (1) взаємодіють на основі множини динамічних процесів

$$\{Pr\} \subseteq \{Pr_j\}, \quad (2)$$

де $\{Pr\}$ – множина процесів, які характеризуються істотною невизначеністю й суперечливістю на множині (2).

Модель процесів (2), які носять детермінований D , імовірнісний P і нечіткий \tilde{F} характер, має вигляд

$$S = \{Pr(D)\} \cup \{Pr(P)\} \cup \{Pr(\tilde{F})\}. \quad (3)$$

Деякі з (2) визначені на основі знань експерта.

Нехай задано фрагмент бази знань

$$A = \{if / then\}, j \in J, \quad (4)$$

де j та J відповідно елемент та множина індексів, що відображує:

- технологічні особливості функціонування об'єкта;
- аспекти ефективності процесів;
- структури алгоритмів і програм;
- організаційну структуру процесів;
- нормативну базу функціонування об'єкта (1).

Розв'язання (4) реалізується у вигляді знаходження нечіткого значення y' з подальшою дефаззифікацією.

Сформулюємо основні напрямки досліджень. Для множини процесів, які домінуватимуть і будуть визначальними в значенні (4), необхідно:

- сформулювати систему домінуючих факторів, що обумовлюють якість функціонування складного об'єкта;
- виділити домінуючі фактори для (4), що обумовлюють ступінь адекватності процесів інтелектуального аналізу даних;
- розробити підходи щодо побудови й дослідженню нових гібридних імітаційних моделей прийняття рішень;
- розглянути підходи щодо критеріїв адекватності процесів у складних об'єктах;
- розробити й обґрунтувати нові знання-орієнтовані методи аналізу процесів у задачах управління якістю складних об'єктів;
- запропонувати структуру методичних і програмних засобів реалізації теоретичних положень дисертаційних досліджень;
- обґрунтувати підходи щодо практичної реалізації інтелектуальних процесів.

У **другому розділі** розроблено та досліджено нові моделі оперативного оцінювання станів складних об'єктів за умов невизначеності. В ході виробництва продукції очікуваний рівень якості продукції, отримуваний на виході, може не відповідати фактичному. Розглянемо побудову моделі оцінки якості як цільової функції оптимізації якості продукції

$$W = \langle X, P, A \rangle, \quad W \rightarrow \min, \quad (5)$$

де X – множина можливих варіантів рішень; P – кінцева множина показників якості (5) і відповідних їм шкал вимірювань; A – алгоритм оцінки (вирішальне правило), що реалізує логіку порівняльної оцінки альтернатив у формі логістичної оцінки.

У роботі вперше запропоновано нову гібридну модель, яка заснована на інтеграції розширених імовірнісних і нечітких мереж Петрі (МП), модифікованих нечітких правилах продукцій на знаннях і штучних нейронних мережах (ШНМ), як засобів вибору альтернатив на множині позицій МП у задачах нечіткого логічного виведення, що дозволяє розширити функціональні можливості моделі.

Предикатна МП, з урахуванням (3), подана у вигляді

$$S^{(k)} = \langle P, T, F, M_0, L_n, L_k, \{\tau_{i,j}\} \rangle, \quad (6)$$

де P – кінцева множина нечітких позицій; T – кінцева множина нечітких переходів; F – нечітка функція інцидентностей – $F : (P \times T) \cup (T \times P)$; M_0 –

вектор нечіткого початкового маркування нечітких позицій P ; L_n – предикати, які належать до логічних рішень; L_k – предикати, які належать до просторових рішень; $\{\tau_{i,j}\}$, $i \in I, j \in J$ – множина дискретних часових характеристик, віднесених до переходів, позицій і компонент функції інцидентності.

Адекватність моделей типу (6) досить докладно досліджені й ґрунтуються на правилах інтерпретації моделей.

Кодування даних і знань здійснюється на основі інструкцій у формі Мамдані: *if* – набір умов задовільнений, *then* – набір наслідків може бути виведений відповідно

$$\begin{array}{l}
 \text{if } x \text{ is } \tilde{A} \text{ then } y \text{ is } \tilde{B} \\
 x' \text{ is } \tilde{A}' \\
 \text{-----} \\
 C = \quad y' \text{ is } \tilde{B}' - ?
 \end{array} \tag{7}$$

де x' – відомий вектор антецеденту \tilde{A}' , а результат (консеквент) \tilde{B}' – не відомий.

Розв'язання (8) може бути отримане у вигляді

$$\mu_{B'}(y) = \bigvee_x [\mu_{A'}(x) \wedge \mu(x, y)] \tag{8}$$

де $\mu(x, y)$ – відношення Мамдані, як знаходження підмножини з

$$\forall (\tilde{x}, \tilde{y}) \in \tilde{E}_1 \times \tilde{E}_2 \mid \mu_{\tilde{x}\tilde{y}}(\tilde{x}, \tilde{y}) \in \{\mu_i\} \tag{9}$$

Модель може бути подана у вигляді

$$S_L = \cup(C, S^{(k)}, \text{ШНМ } (X \rightarrow Y)) \tag{10}$$

або модель $S^{(k)}_S$ може бути подана у вигляді

$$S_L = \cup(C, S^{(k)} \cup S^{(\text{ШНМ})} (X \rightarrow Y)) \tag{11}$$

де символ \cup обумовлює деяку функціональність реалізації складових моделі (10), (11).

Основними критеріями, що обумовлюють адекватність процесів і їх взаємодію, у роботі обґрунтовано й досліджено: досяжність заданого простору з множини станів – D_s ; повнота множини прийнятих рішень – PI ; несуперечність даних і знань – Npt .

У роботі набула подальшого розвитку гібридна модель процесів, яка на відміну від існуючих, функціонує у нечіткому просторі станів і додатково включає модулі адаптації й аналізу функцій тестування компонент системи для мети підвищення якості функціонування об'єкта.

Нехай задана структура розширеної гібридної моделі

$$S_p = \bigcup_{\omega} S_{\omega}, \omega \in \Omega \quad (12)$$

і реалізує управління у вигляді

$$\hat{X} \rightarrow \hat{Y} . \quad (13)$$

У роботі визначено й доведено, що якщо задано модель (12), яка реалізує управління (13), то введення додатково модуля адаптації за критерієм надійності (МА) і модуля реалізації тестування й відображення процесів адаптації (MTiA) дозволяє підвищити якість виробів, що випускаються.

Виділивши модулі МА й MTiA у вигляді

$$S_{\alpha} = \cup (S_M, S_{MT}) , \quad (14)$$

подано розвиток гібридної моделі як композицію часткових моделей

$$S_{p\alpha} = \bigcup_{\omega} (\cup S_{\omega} \cup (S_M, S_{MT}) , \omega \in \Omega . \quad (15)$$

Проблеми композиційного об'єднання є важливими й актуальними, що вимагає подальших досліджень. Для цілей підвищення якості моделі (15) викликають особливий інтерес проблеми синтезу моделей і систем для мети підвищення якості складних об'єктів на основі управління надійністю компонент моделі. Метою синтезу систем, фактором оптимізації показників яких є мінімізація вартісних показників C їх функціонування, визначається на основі функціонала виду

$$\sum_{\eta}^N C_{\eta} (C_{\eta} \in C) | P(t) \geq P(t)^* = true , \eta \in N , \quad (16)$$

де $P(t)^*$ – припустиме значення експлуатаційної надійності.

Функціонал (16) реалізується на основі критерію мінімуму суми квадратів похибок ідентифікації. Завдання синтезу за критеріями надійності викликає практичну спрямованість.

За наявності альтернатив $\{Alt_v\}, v \in N$, у розв'язанні (16) слід урахувати пошук

$$\{Alt\}_Y = \min_F \{Alt_v\}, v \in N, Y \subseteq N, \quad (17)$$

як підмножини з $Y \subseteq N$ можливих рішень.

Подальшим розширенням компонентів моделі $S^{(k)}$ (6), визначених у нечіткому просторі станів – $S^{(k)}: \mu(k) \rightarrow [0, 1]$, модель може бути виконана у вигляді

$$S^{(k)}_{ГМ} = S^{(k)} \cup \{if / then_{\alpha}\}, \alpha \in A, \quad (18)$$

де $\{if / then_{\alpha}\}, \alpha \in A$ – множина нечітких правил на нечітких знаннях, $\alpha \in A$ – множина індексів ПП, \cup – символ, що визначає об'єднання множин компонент гібридних моделей (ГМ), розширений функціонально на випадок процедур нечіткого логічного виведення Заде – Мамдані.

У роботі вирішено завдання навчання й настроювання параметрів функцій належності k_1, k_2 . Для цієї мети був застосований модифікований метод дихотомії, у задачах навчання ШНС – градієнтні процедури на основі методу зворотного поширення похибки, визначений мінімум критерію похибки навчання.

У **третьому розділі** вперше запропоновано новий метод реалізації процесів інтелектуального управління якістю виробів у складних системах, який ґрунтується на визначенні рівня якості та показників вартості виробів і цілеспрямованого тестування об'єкта за умов апіорної та поточної невизначеності.

Як показав аналіз, найважливішим фактором, що впливає на ефективність технологічного обладнання, є показники надійності і їх похідні. У зв'язку із цим максимізація факторів надійності становить особливий інтерес у значенні розвитку й інтелектуалізації методів і моделей.

Сформулюємо етапи реалізованого нового інтелектуального методу.

Етап 1. Визначаємо структуру моделі й функцію розподілу ймовірностей компонент системи.

Етап 2. Формулюємо множину показників надійності компонент аналізованої ділянки.

Етап 3. Визначаємо рівень (інтенсивність) бракованих виробів.

Етап 4. Визначаємо множину вартісних показників системи.

Етап 5. Призначаємо норми припустимих значень за критеріями C_η , N і $P(k)$.

Етап 6. Для випадку, коли порушується $-(C_\eta, N, P(k)) \rightarrow false$, реалізуємо процедури тестування й усунення відмов і їх наслідків з урахуванням можливих обмежень.

Етап 7. Здійснюємо повторний прогін за етапами 1 – 6 до виконання критеріїв (етап 6) при обмеженні на часові ресурси $\tau \leq \tau^*$.

Етап 8. Останов.

Нижня межа обчислювальної складності o розробленого методу подана у вигляді полінома другого порядку.

Застосування розробленого методу (етапи 1 – 7) з розв'язанням оптимізаційних задач (16) дозволило на множині альтернатив знизити час виявлення, локалізації й ліквідації причин відмов при лінгвістичних термах рівня професійної придатності «середній» у координатах «нечіткий аргумент – значення функції приналежності», що склало $\tau \leq 20$ хв. та є задовільним результатом.

Важливою проблемою в задачах підвищення якості виробів є облік множини суперечливих факторів. До них, у першу чергу, слід віднести простір станів об'єкта, у якому реалізуються технології. При цьому простір станів може бути презентовано детермінованими процесами – D ; імовірнісними процесами – P ; нечіткими процесами – \tilde{F} .

Набув подальшого розвитку метод оперативного аналізу даних у нечіткому просторі станів, який, на відміну від існуючих, дозволяє функціонування як при імовірнісному оцінюванні, так і при нечітких вихідних даних нечіткого логічного виведення Мамдані та Такагі – Сугено – Канга. Визначено межі адекватності методу в програмному середовищі FPN та його обчислювальну складність, що є близькою до квадратичної та дозволяє розширити функціональні можливості методу. Критерієм якості задачі синтезу параметрів об'єкта може бути функціонал I , що визначає безвідмовність роботи розглянутого об'єкта за певних обмеженнях предметної галузі

$$I = \min(X_1, X_2, \dots, X_n) | P(\kappa) \in \{ P(k) \},$$

$$P(t) \geq P(t)^*, \sum_{\eta=1}^N C_\eta (C_\eta \in C), \eta \in C, N \geq N^* \quad (19)$$

де X_1, X_2, \dots, X_n - аргумент мінімізації, $P(\kappa)$ - розподіл ймовірності, C_η - собівартість на множині індексів η, N .

Зазначимо, що знання-орієнтовані підходи, орієнтовані на практичну реалізацію, викликають особливий інтерес. Недоліком запропонованого вище методу є також його уразливість у випадку застосування імовірнісних і фаззі (нечітких) вихідних даних об'єкта дослідження, що призводить до додаткової невизначеності.

Враховуючи (19), а також те, що відсутня у явному вигляді функція розподілу $F(x)$ ймовірностей компонент системи, а також задані фаззі (нечіткі) вихідні дані про об'єкт дослідження у вигляді нечітких відношень $\tilde{R}(x, y)$ нечіткого графа, сформулюємо етапи реалізованого методу.

Етап 1. Визначаємо структуру моделі.

Етап 2. Розпаралелювання процесів.

Етап 2'. Визначаємо функції розподілу ймовірностей і фаззі у складові компонент системи.

Етап 2''. Об'єднання паралельних процесів.

Етап 3. Визначаємо функції належності компонент системи в нечіткому просторі станів.

Етап 3'. Настроювання функцій належності.

Етап 4. Формулюємо множину показників надійності компонент ділянки, для якої виконується аналіз.

Етап 5. Використовуючи знання-орієнтовані технології, визначаємо рівень (інтенсивність) бракованих виробів.

Етап 6. Визначаємо множину вартісних показників системи.

Етап 7. Призначаємо норми припустимих значень за критеріями $C_n, N, P(k), \tilde{F}$.

Етап 8. Для випадку, коли порушується $-(C_n, N, P(k)) \rightarrow false, \tilde{F} \rightarrow false$, реалізуємо процедури тестування й усунення відмов і їх наслідків з урахуванням можливих обмежень.

Етап 9. Здійснюємо повторний прогін за етапами 1 – 8 до виконання критеріїв (етап 8) при обмеженні на часові ресурси $\tau \leq \tau^*$.

Етап 10. Контроль виконання адекватності операторів 8 – 9.

Етап 11. Останов.

Як впливає із особливостей реалізації технологічного процесу розглянутої ділянки, обчислювальна складність реалізації процесів багато в чому визначається моделлю на основі часткових моделей шляхом їх розширень.

Очевидно, що для запропонованих методів виникає задача аналізу адекватності процесів за критеріями досяжності $D = true$ й відсутності конфліктних ситуацій $Conf = false$ на моделі s .

Виконано аналіз адекватності розроблених методів за критеріями досяжності $D = true$ й відсутності конфліктних ситуацій $Conf = false$ на моделі s ,

підтверджена їхня ефективність. Для аналізу адекватності процесів було запропоновано використовувати аналіз у модифікованому програмному середовищі FPN.

У **четвертому розділі** розглянуто прикладні аспекти знання-орієнтованих інтелектуальних методів і моделей аналізу складних об'єктів. Запропоновано методологічні аспекти реалізації функцій інтелектуального аналізу складних систем.

Запропоновано структуру методичних засобів реалізації функцій інтелектуального аналізу складних об'єктів, що включає множини: імітаційних моделей $\{S_i\}, i \in I, i = \overline{1,4}$; інтелектуальних методів оцінювання якості виробів і розширених методів оцінювання якості виробів на основі знання-орієнтованих Заде – Мамдані технологій $\{M_j\}, j \in J, j = \overline{1,4}$; $LO(A_j)$ – логічний оператор функціонування структури; $PA - D_i$ – модуль попереднього аналізу даних і знань за критерієм адекватності; $LU - D_j$ – модуль логічного управління моделюванням об'єкта на основі критерію мінімуму витрат.

Для реалізації задач інтелектуального аналізу даних запропоновано структуру програмних засобів. Змістовний аналіз існуючих рішень дозволив сформулювати деякі основні вимоги й реалізацію програмного середовища.

Структура програмних засобів включає: модифіковану структуру програмних засобів *MFPN*. Програмний продукт *MFPN* є розширенням середовища FPN на реалізацію логічних функцій у середовищі Microsoft Visual Studio мовами *C#, Java, Delphi*; структура запропонованого програмного середовища моделювання *MJ1, MJ2*, яка реалізована в складі версії моделювання виробничих процесів PRMA, v. 1; структура й функції програмного середовища реалізації виробів у середовищі MR, використовуючи ідеї ISO 9000, здійснюють функції технологічного ланцюжка реалізації виробів виробництва, що передбачає уважне ставлення до етапів реалізації виробів; аналіз функціонування підприємства, тестування й аналіз вимог до інтелектуальної автоматизованої підсистеми підприємства в реалізації виробів здійснюється на основі програмного середовища MT. Показано, що простота в програмуванні даного додатка реалізована у вигляді функцій об'єктно-орієнтованого програмування *Delphi*.

Реалізація інтелектуальних методів аналізу здійснювалася за умов впровадження. Якість виробів машинобудування й приладобудування безпосередньо залежить від технологій та інтелектуальних засобів, як складових підвищення якості виробів.

Завершальним етапом аналізу якості виробів є прийняття рішень на основі аналізу критеріїв. Виробнича ділянка здійснює випуск деякої множини виробів типу «тіл обертання» $\{S_i\}, i \in I, i = \overline{1,7}$. Характерний приклад – шестірня

редуктора. Існує також множина ознак $\{\alpha_j\}$, $j \in J$, $j = \overline{1,6}$, що обумовлюють критичний рівень зниження якості виробу (таблиця 1).

Таблиця 1 – Таблиця ознак

	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6
s_1	+				+	
s_2	+		+	+		+
s_3		+		+		
s_4	+		+		+	
s_5		+		+		
s_6	+					+
s_7			+			

Аналіз таблиці 1 дає можливість визначити деяку підмножину потужностей домінуючих ознак. Результати аналізу подаються у вигляді

$$\begin{aligned}
 \Omega_{s_1} &= \{\alpha_1, \alpha_5\}, |\Omega_{s_1}| = 2; \quad \Omega_{s_2} = \{\alpha_1, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_6\}, |\Omega_{s_2}| = 4; \\
 \Omega_{s_3} &= \{\alpha_2, \alpha_4\}, |\Omega_{s_3}| = 2; \quad \Omega_{s_4} = \{\alpha_1, \alpha_3, \alpha_5\}, |\Omega_{s_4}| = 3; \\
 \Omega_{s_5} &= \{\alpha_2, \alpha_4\}, |\Omega_{s_5}| = 2; \quad \Omega_{s_6} = \{\alpha_1, \alpha_6\}, |\Omega_{s_6}| = 2; \\
 \Omega_{s_7} &= \{\alpha_3\}, |\Omega_{s_7}| = 1.
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

Дані (21) і їх аналіз можуть бути подані у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2 – Таблиця домінуючих ознак

	Ω_{s_1}	Ω_{s_2}	Ω_{s_3}	Ω_{s_4}	Ω_{s_5}	Ω_{s_6}	Ω_{s_7}
$ \cdot $	2	4	2	3	2	2	1
Потужність домінування	> 2	> 4	> 2	> 3	> 2	> 2	-

У таблиці 2 також наведено показники потужності домінування, які визначають (у координатах $\bullet 4 \rightarrow \bullet 3 \rightarrow \bullet 2$) ступінь застосування тестових засобів і засобів настроювання обладнання на основі процедур нечіткого логічного виведення Заде – Мамдані

$$\mu_{(n=1)} = 0.25, \mu_{(n)} \leq \mu_{(n)}^*, \mu_{(n)}^* = 0.50.$$

Результати наукових досліджень впроваджено у виробництво. Комплекс дій призвів до підвищення якості виробів, скорочення часових витрат у виробничих

процесах підприємств «Центр СПБ» (м. Харків) та ТОВ «ІПРІС - ПРОФІЛЬ» (м. Харків) до 10%, що підтверджено відповідними актами.

У додатку наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, відповідно до поставленої мети й задач, наведено теоретичне узагальнення й нове розв'язання наукової задачі, яке полягає в розробці нових методів, моделей і інтелектуальних знання-орієнтованих технологій аналізу (Data mining) оцінки станів складних систем. У порівнянні з існуючими методами й моделями, отримані наукові й практичні результати дозволяють моделювати, аналізувати й оцінювати простір станів складних об'єктів, процеси в яких подані на основі детермінованих, імовірнісних і нечітких даних та знань на множині відношень «умова-дія». Отримані результати мають важливе наукове й практичне значення для реалізації знання-орієнтованих інтелектуальних засобів аналізу стану складних технологічних об'єктів.

У відповідності поставлених задач у роботі отримано нові наукові й практичні результати:

1. Виконано аналітичний огляд проблем аналізу простору станів складних об'єктів, процеси в яких подані на множині відношень «умова – дія». Визначено, що процеси можуть бути розподілені просторово в просторі станів, залежать від технологічних особливостей об'єкта, вони мало досліджені, вимагають для аналізу розробки нових моделей і методів розв'язання теоретичних і практичних задач. Сформульовано постановку задачі досліджень, спрямованих на вирішення комплексу взаємозалежних теоретичних і практичних питань інтелектуального аналізу, оцінки технічного стану та якості складних просторово розподілених об'єктів і систем.

2. Вперше запропоновано новий метод реалізації процесів інтелектуального управління якістю виробів у складних системах, який заснований на визначенні рівня якості й показників вартості, а також цілеспрямованого тестування об'єкта в умовах апіорної й поточної невизначеності, що дозволило підвищити ефективність складних систем.

3. Вперше запропоновано нову гібридну модель процесів, яка заснована на інтеграції розширених імовірнісних і нечітких мереж Петрі, модифікованих нечітких правилах продукцій на знаннях і штучних нейронних мережах, як засобах вибору альтернатив на множині позицій мереж Петрі в задачах нечіткого логічного виведення, що дозволяє розширити функціональні можливості моделі.

4. Набув подальшого розвитку метод оперативного аналізу даних, який, на відміну від існуючих, дозволяє функціонування як при імовірнісному оцінюванні, так і при нечітких вихідних даних нечіткого логічного виведення Мамдані й

Такагі – Сугено – Канга. Визначено межі адекватності методу в програмному середовищі FPN і його обчислювальну складність, яка є близькою до квадратичної й дозволяє розширити функціональні можливості об'єкта.

5. Набула подальшого розвитку гібридна модель інтелектуальних процесів, яка на відміну від існуючих, функціонує в нечіткому просторі станів і додатково включає модулі адаптації й аналізу функцій тестування компонент системи для мети підвищення якості функціонування об'єкта, що дало змогу суттєво скоротити часові показники реалізації процесів.

6. Розроблені й обґрунтовані в дисертаційній роботі нові методи й гібридні моделі є теоретичною базою розв'язання задач моделювання, оперативного аналізу й оцінки простору станів складних об'єктів з метою виявлення, локалізації й усунення неадекватностей, підвищення якості виробів складних об'єктів.

У роботі запропоновано й обґрунтовано:

- алгоритмічну базу розв'язання прикладних задач аналізу й управління якістю виробів у складних виробничих системах;
- розширені функціональні можливості програмного середовища FPN (Fuzzy Petri Nets) шляхом введення нових логічних функцій;
- розроблені засоби аналізу й моделювання виробничих процесів PRMA, v. 1, які дозволяють ефективно контролювати й моделювати інтелектуальні технологічні процеси складних об'єктів.

Отримані теоретичні результати обґрунтовані, досліджені й впроваджені у виробництво, де вони показали свої переваги й значущість над відомими рішеннями.

7. Результати наукових досліджень впроваджені у виробництво. Комплекс дій призвів до підвищення якості виробів, скороченню часових витрат у виробничих процесах підприємств «Центр СПБ» (м. Харків) та ТОВ «ІПРІС-ПРОФІЛЬ» (м. Харків) до 10%, що підтверджено відповідними актами впровадження: акт впровадження від 18.09.2014р.; акт впровадження від 29.10.2014р., впровадженням результатів дисертаційних досліджень у навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки, Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків), Харківського Машинобудівного коледжу (м. Харків), що підтверджено відповідними актами впровадження: акт впровадження від 21.05.2014р.; акт впровадження від 26.06.2014 р.; акт впровадження від 12.06.2014 р.

8. Результати теоретичних і практичних досліджень доцільно розвивати й використовувати в наукових, науково-технічних і технологічних розробках, вони можуть бути адаптовані й впроваджені в інтелектуальних засобах управління і обробки даних та знань складних систем інших предметних галузей.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Тарасенко, О.П. Нейронно-мережні моделі якості. Монографія./ О.П. Тарасенко, С.М. Трохимчук. – Х:Aladdin Print, 2013. – 130 с.
2. Kucherenko, Ye.I. Models of processes in technologies of industrial system quality control / Ye.I. Kucherenko, S.M. Trokhymchuk // Науковий вісник Національного гірничого університету. Науково-технічний журнал. – №4 (142) – Дніпропетровськ, 2014. – С. 73 – 78. (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, Compendex, EBSCO, Ulrichsweb Global Serials Directory, Index Copernicus)
3. Kucherenko, Ye.I. Knowledge-oriented technologies in highly automated production/ Ye.I. Kucherenko, S.M. Trokhymchuk, O.D. Driuk// Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2014. № 2(31). – С.79 – 84 (Входить до наукометричних баз INSPEC, Index Copernicus, INIS, EBSCO, Google, Scholar, COMPENDEX, ULRICH'S, РИНЦ)
4. Кучеренко, Е.И. Гибридные модели и информационные технологии в управлении сложными объектами. / Е.И. Кучеренко, С.Н. Трохимчук //Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – Луцьк: Видавництво Луцького національного технічного університету, 2013. – Вип. 11. – С. 46 – 51.
5. Бондаренко, М.А. Розробка класів для підсистеми обліку продажу торгівельного підприємства/ М.А. Бондаренко, В.А. Жилін, Д.П. Панасенко, С.М. Трохимчук // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2011. – № 2 (18). – С. 201 – 204.
6. Бондаренко, М.А. Розробка прикладного додатку для тестування класів в підсистемі обліку продажу торгівельного підприємства/ М.А. Бондаренко, В.А. Жилін, Д.П. Панасенко, С.М. Трохимчук // Системи обробки інформації – 2011. – № 5 (95). – С. 127-130.
7. Кучеренко, Е.И. Метод оценивания качества изделий механосборочного производства / Е.И. Кучеренко, С.Н. Трохимчук // Збірник наукових праць Харківського Університету Повітряних Сил. – Х.:Харківський Університет Повітряних Сил імені Івана Кожебуда, 2014. – Вип. 2(39) – 2014. – С. 183 – 189.
8. Бондаренко, Т.С. Про вибір сучасних носіїв інформації / Т.С. Бондаренко, Т.М. Савченко, С.М. Трохимчук //Страховий фонд документації: науково-виробничий журнал. – 2008. – № 1 (4). – С. 37 – 41.
9. Кучеренко, Е.И. Технологии управления качеством автоматизированных производственных систем / Е.И. Кучеренко, С.Н. Трохимчук // Информационные системы и технологии: материалы 2-й международной науч.-техн.конф., – Евпатория – Харьков, 16-22 сентября 2013г. – С. 48 – 49.
10. Кучеренко, Е.И. Знание-ориентированные технологии при управлении производственными процессами / Е.И. Кучеренко, С.Н. Трохимчук // Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами», п.Рыбачье, 9 – 13 сентября 2013г. – Харьков:

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», 2013. – С.146 – 147.

11. Трохимчук С.Н. Модели процессов в технологиях управления качеством производственных систем / С.Н. Трохимчук // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: Материалы XVII международного молодежного форума, Харьков, 14–16 апреля 2014 г. – Харьков,: ХНУРЭ, 2014. – Т.6. – С. 48 – 49.

АНОТАЦІЯ

Трохимчук С.М. Знання-орієнтовані інтелектуальні методи і моделі аналізу складних систем. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2015.

Дисертаційна робота присвячена розробці нових знання-орієнтованих інтелектуальних методів та моделей аналізу складних систем, що функціонують за умов невизначеності та обмежень на матеріальні ресурси.

У роботі проведено аналітичний огляд особливостей розвитку інтелектуальних методів, моделей аналізу (Data mining) та інструментальних засобів підвищення якості складних об'єктів. Отримано нові наукові результати, що мають переваги над існуючими рішеннями. Запропоновано новий метод реалізації процесів інтелектуального управління якістю виробів у складних системах. Запропоновано нову гібридну модель, яка заснована на інтеграції розширених імовірнісних і нечітких мереж Петрі, модифікованих нечітких правилах продукцій на знаннях і штучних нейронних мережах. Набув подальшого розвитку інтелектуальний метод оперативного аналізу даних та знань, який дозволяє функціонування як при імовірнісному оцінюванні, так і при нечітких вихідних даних нечіткого логічного виведення Мамдані й Такагі – Сугено – Канга. Набула подальшого розвитку гібридна модель процесів, яка функціонує в нечіткому просторі станів і додатково включає модулі адаптації й аналізу функцій тестування. Отримані теоретичні результати обґрунтовані, досліджені й впроваджені у виробництво, де вони показали свої переваги й значущість над відомими рішеннями.

Подальшим етапом дослідження у даному напрямку є удосконалення математичного апарату побудови моделей і адаптація отриманих результатів на об'єктах предметних галузей.

Ключові слова: нечітка логіка, гібридні моделі, методи, нечітка мережа Петрі, знання-орієнтовані технології Заде – Мамдані, Такагі – Сугено – Канга, терм, функція належності.

АННОТАЦИЯ

Трохимчук С.Н. Знание-ориентированные интеллектуальные методы и модели анализа сложных систем. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.23 – системы и средства искусственного интеллекта. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2015.

В диссертационной работе решена актуальная научная задача – усовершенствование существующих и разработка новых знание-ориентированных методов и моделей интеллектуального анализа (Data Mining) сложных систем для повышения качества ответственных изделий машиностроения и приборостроения. В работе выполнен содержательный анализ и исследование интеллектуальных детерминированных, вероятностных и нечетких процессов средствами компьютерной техники и компьютерных технологий, что в настоящее время является одним из приоритетных направлений развития систем во многих областях человеческой деятельности.

В диссертационной работе, в соответствии с поставленной целью и задачами, приведено теоретическое обобщение и новое решение научной задачи, которая заключается в разработке новых методов, моделей и интеллектуальных знание-ориентированных технологий анализа (Data mining) и оценки состояния сложных систем и объектов. В сравнении с существующими методами и моделями, полученные научные и практические результаты позволяют моделировать, анализировать и оценивать пространство состояний сложных объектов, процессы в которых представлены на основе детерминированных, вероятностных и нечетких представлений на множестве отношений «условие-действие».

Анализ последних достижений показал, что в рассмотренной области не предложено таких интеллектуальных решений, которые подходили бы к широкому классу рассматриваемых задач. Сформулирована постановка задачи исследований.

Получены новые научные результаты, которые имеют преимущества над существующими решениями. Научная новизна полученных результатов заключается в том, что: впервые предложен новый метод реализации процессов интеллектуального управления качеством изделий в сложных системах, который основан на определении уровня качества и показателей стоимости, а также целенаправленного тестирования объекта в условиях априорной и текущей неопределенности; впервые предложена новая гибридная модель, которая основана на интеграции расширенных вероятностных и нечетких сетей Петри, модифицированных нечетких правилах продукций на знаниях и искусственных

нейронных сетях, как средств выбора альтернатив на множестве позиций сетей Петри в задачах нечеткого логического вывода, что позволяет расширить функциональные возможности модели; получил дальнейшее развитие метод оперативного анализа данных, который, в отличие от существующих, позволяет функционирование как при вероятностном оценивании, так и при нечетких исходных данных нечеткого логического вывода Мамдани и Такаги – Сугено – Канга. Определены границы адекватности метода в программной среде FPN и его вычислительная сложность, которая является близкой к квадратичной и позволяет расширить функциональные возможности; получила дальнейшее развитие гибридная модель процессов, которая в отличие от существующих, функционирует в нечетком пространстве состояний и дополнительно включает модули адаптации и анализа функций тестирования компонент системы для цели повышения качества функционирования объекта.

Разработанные и обоснованные в диссертационной работе новые методы и гибридные модели являются теоретической базой решения практических задач моделирования, оперативного анализа и оценки пространства состояний сложных объектов с целью повышения качества производственных объектов и их изделий.

Опытная эксплуатация знание-ориентированных интеллектуальных средств анализа процессов в сложных объектах подтвердила высокую достоверность принятия решений по теме исследований.

Результаты теоретических и практических исследований целесообразно развивать и использовать в научных и научно-технических разработках и внедрениях в системы управления сложными объектами, которые функционируют в условиях неопределенности и ограничений на ресурсы. Перспективой дальнейших исследований является дальнейшее совершенствование математического аппарата построения интеллектуальных моделей и адаптация полученных результатов на объектах предметных областей.

Ключевые слова: нечеткая логика, гибридные модели, методы, нечеткая сеть Петри, знание-ориентированные технологии Заде-Мамдани, Такаги – Сугено – Канга, терм, функция принадлежности.

ABSTRACT

Trokhymchuk S.M. Knowledge oriented intellectual methods and models of complex systems analysis. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical science (Ph.D.) on specialty 05.13.23 – systems and tools of artificial intelligence. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2015.

The thesis is devoted to development of new knowledge oriented intellectual methods and models of analysis of complex objects which operate under conditions of uncertainty and restrictions on the material resources.

The paper considers an analytical survey of development features of intellectual methods, analytical models (Data mining) and tools improving the quality of complex objects. New scientific results, which have advantages over existing solutions, have been obtained. A new implementation method of intellectual quality control processes of products in complex systems has been offered. Considered a new hybrid model based on integration of advanced probabilistic and fuzzy Petri net, modified knowledge-based fuzzy production rules and artificial neural networks. The method of operational data analysis has got further development, which allows operating with both probabilistic estimation and fuzzy initial data of Mamdani or Takagi-Sugeno-Kang fuzzy inference. The hybrid process model has got further development, which operates in fuzzy state space and additionally includes modules of adaptation and analysis of testing functions. The obtained theoretical results have been justified, investigated and introduces into production, where they showed their importance and advantages over the known solutions.

Prospects for further research in the given area include improvement of the mathematical apparatus of model constructing, and adaptation of the obtained results on the objects of subject areas.

Keywords: fuzzy logic, hybrid models, methods, fuzzy Petri net, knowledge oriented techniques of Zadeh-Mamdani, Takagi-Sugeno-Kang, term, membership function.

Підп. до друку 26.05.2015. Формат 60×84¹/₁₆. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 0,9. Облік. вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим. Зам. № 2-377.

Україна, 61166, Харків, просп. Леніна, 14, ХНУРЕ

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ.
Україна, 61166, Харків, просп. Леніна, 14

