

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

**ДРЮК ОЛЕКСАНДР ДМИТРОВИЧ**

УДК 519.7:007.52; 004.8

**МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ МАРШРУТИЗАЦІЇ МОБІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ  
НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЦІЇ ЙМОВІРНІСНОЇ ТА НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ**

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, МОН  
України, професор кафедри  
штучного інтелекту

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Гороховатський Володимир  
Олексійович**, Харківський  
навчально-науковий інститут ДВНЗ  
«Університет банківської справи»,  
МОН України, професор кафедри  
інформаційних технологій;

доктор технічних наук, професор  
**Субботін Сергій Олександрович**,  
Запорізький національний технічний  
університет, МОН України,  
професор кафедри програмних  
засобів.

Захист відбудеться «16» грудня 2015 р. о 14<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: Україна, 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14.

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

Автореферат розісланий «11» листопада 2015 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_ О.А. Винокурова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Розробка методів та моделей маршрутизації мобільних об'єктів є важливою складовою технологічних процесів машинобудування та приладобудування, які функціонують в умовах невизначеності. Моделі та методи керування складними об'єктами спрямовані на підвищення ефективності та якості інтелектуалізації автоматизованих виробництв.

Значний внесок у створення та розвиток моделей і методів обчислювального інтелекту, орієнтованих на керування складними об'єктами внесли вітчизняні та зарубіжні вчені.

Однак існуючі підходи, незважаючи на глибину досліджень з використанням сучасного математичного апарату, не завжди охоплюють глибину проблеми на основі інтеграції знань. Особливо це важливо у випадках, коли рішення приймаються в умовах невизначеності, жорстких обмежень на часові та матеріальні ресурси.

Тому актуальними є розробка, розвиток і вдосконалення нових інтелектуальних методів і моделей інтелектуального керування мобільними об'єктами на сучасних виробництвах. Розв'язання актуальних задач інтелектуального керування складними об'єктами, підвищення ефективності та якості прийнятих рішень і є змістом даних досліджень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в рамках держбюджетної НДР «Нейро-фаззі системи для поточної кластеризації і класифікації послідовностей даних в умовах їх скривлення відсутніми й аномальними спостереженнями» (№ ДР 0113U000361), що виконується у Харківському національному університеті радіоелектроніки. Здобувачем, як виконавцем, розроблені нові методи й моделі, засновані на інтеграції мережевих, ймовірнісних підходів, а також підходів на основі нечітких правил продукцій, визначені межі адекватності розроблених методів у програмному середовищі IntelliJ Idea і їхню обчислювальну складність, яка за даних обмежень близька до квадратичної.

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

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка й дослідження нових методів та моделей інтелектуального керування складними об'єктами для підвищення якості та ефективності рішень, що приймаються.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися такі наукові задачі:

- аналіз відомих методів та моделей керування мобільними об'єктами;
- розробка нового гібридного методу на основі частинних методів оптимізації керування складними об'єктами;
- розробка нової гібридної моделі на основі інтеграції частинних моделей керування складними об'єктами;

- розробка та удосконалення інтелектуальних методів аналізу процесів на гібридній моделі;

- подальший розвиток існуючих моделей маршрутизації мобільних об'єктів;

- розв'язання прикладних задач інтелектуального керування складними об'єктами.

*Об'єкт дослідження* – процес інтелектуального керування мобільними об'єктами.

*Предмет дослідження* – інтелектуальні методи та моделі маршрутизації мобільних об'єктів на основі інтеграції ймовірнісної та нечіткої логіки.

**Методи дослідження.** Для розв'язання задач, поставлених у роботі, використовувалися методи: основи теорії розширених мереж Петрі – для обґрунтування нових мережевих моделей і методів; основи теорії ймовірностей – для розробки та обґрунтування нових стохастичних моделей і методів; основи теорії нечітких множин – для розробки та аналізу нових нечітких моделей і методів; елементи теорії випадкових процесів – для налаштування розроблених нечітких моделей.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в тому, що:

- вперше розроблено гібридний метод маршрутизації мобільних об'єктів, який включає об'єднання частинних методів і вирішує задачу оптимізації керування процесами за обмежень на часові та матеріальні ресурси, що дозволило підвищити ефективність систем;

- вперше розроблено гібридну модель процесів керування мобільними об'єктами на основі інтеграції стохастичних, нечітких і мережевих моделей, що дозволило підвищити якість та ефективність керування мобільними об'єктами за обмежень на часові та матеріальні ресурси з урахуванням похибок мобільного об'єкта;

- удосконалено метод аналізу процесів на гібридній моделі, який, на відміну від існуючих, додатково включає інтелектуальні функції і технології на основі правил функціонування об'єкта на множині частинних моделей, що дозволило підвищити ефективність і достовірність аналізу;

- набула подальшого розвитку нечітка модель переміщення мобільного об'єкта, яка, на відміну від існуючих, заснована на формальних правилах переміщення і дозволяє оптимізувати керування системою мобільних об'єктів на основі розроблених критеріїв, що дозволило підвищити ефективність функціонування мобільного об'єкта.

**Практична цінність отриманих результатів.** Розроблені та обґрунтовані в дисертаційній роботі нові гібридні методи і моделі є теоретичною базою розв'язання задач оптимізації інтелектуального керування складними об'єктами з метою підвищення якості та ефективності функціонування автоматизованих виробництв.

Запропоновані і обґрунтовані:

– нові методи та підходи до розв’язання прикладних завдань керування мобільними об’єктами під час використання інтеграції стохастичних і нечітких методів і моделей;

– програмні засоби інтелектуального керування мобільними об’єктами, що дозволяють обирати найбільш ефективний режим керування за заданих обмежень.

Застосування запропонованих інтелектуальних методів і моделей дозволяє підвищити ефективність керування системою мобільних об’єктів, що функціонують за умов невизначеності та обмежень на часові ресурси. Отримані теоретичні результати були обґрунтовані, досліджені та впроваджені у виробництво, де вони довели свої переваги і значущість перед відомими рішеннями.

Такий комплекс дій привів до підвищення ефективності та якості керування виробничими процесами підприємств ТОВ «Дніпро-Трейд» (Запоріжжя) та ДП «Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування» (Харків) до 11%, що підтверджено актами: акт від 19.05.2014 р.; акт від 14.11.2014 р, впровадженням результатів дисертаційних досліджень у навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ), що підтверджено актом від 12.06.2014 р.

**Особистий внесок здобувача** полягає в тому, що наукові положення, висновки та рекомендації, що лежать в основі дисертаційної роботи, були сформульовані, розроблені та досліджені їм самостійно. У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачеві належать: [1] – гібридний метод аналізу досяжності на мережах Петрі; [2] – стохастична модель та метод субоптимальної маршрутизації мобільних об’єктів згідно з запропонованою моделлю; [3] – нечітка модель керування мобільними об’єктами; [4] – метод керування складними об’єктами на основі системи нечітких правил продукції; [5] – підходи до реалізації нечітких моделей у методах нечіткого логічного виведення Мамдані; [6] – удосконалена нечітка модель керування складними об’єктами; [7] – розширення методу аналізу досяжності на мережевих моделях для безпечних мереж Петрі; [8] – розширення методу аналізу досяжності на мережевих моделях для випадку неточного задання початкового та кінцевого маркувань; [9] – удосконалена стохастична модель керування мобільними об’єктами; [10] – нові інтелектуальні підходи до керування мобільними об’єктами на основі нечіткої логіки; [11] – новий гібридний метод керування мобільними об’єктами на основі частинних методів; [12] – удосконалений метод налаштування нечіткої моделі керування складними об’єктами.

**Апробація результатів дисертаційних досліджень.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних конференціях і міжнародних форумах: «Проблеми розвитку та впровадження систем управління, стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України» (Донецьк, 2011), «Математичне моделювання та інформаційні технології» (Одеса, 2011), «Інформаційні системи та технології»

(Морське–Харків, 2012; Харків, 2014); «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» (Івано-Франківськ, 2013); «Теорія прийняття рішень» (Ужгород, 2014); «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті» (Харків, 2012, 2013, 2014, 2015).

**Публікації.** Основні положення і результати дисертації опубліковані в 16 друкованих працях, з них: 6 статей у періодичних виданнях з технічних наук, що включені до переліків МОН України (з них 3 статті у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз), 10 публікацій у збірниках праць і матеріалах міжнародних наукових конференцій та міжнародних форумів.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатка. Робота містить 47 рисунків і 5 таблиць, список використаних джерел з 127 найменувань на 14 сторінках, а також 1 додаток на 4 сторінках. Загальний обсяг роботи складає 170 сторінок, у тому числі 112 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 та моделей інтелектуального керування мобільними об'єктами у складних виробничих системах. Виконано аналітичний огляд існуючих підходів і проблем моделювання нечітких процесів маршрутизації складних об'єктів, що функціонують в умовах невизначеності, на основі стохастичних і нечітких інтелектуальних моделей та методів. Аналіз існуючих результатів показав, що в розглянутій галузі ще не запропоновано таких інтелектуальних рішень, які б задовольнили широкий клас вирішуваних задач.

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

$$\forall O \in \{O\} : \{A_\alpha\} \subseteq \{O_\alpha\}, \alpha \in A, \quad (1)$$

де  $\{O\}$  – множина об'єктів;  $A$  – множина індексів об'єктів.

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

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

які характеризуються істотною невизначеністю на множині (2).

Модель процесів (2), які носять детермінований  $D$ , ймовірнісний  $P$  та нечіткий  $\tilde{F}$  характери, має вигляд

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

Деякі процеси з (2) визначені на основі знань експерта.

Нехай задано фрагмент бази знань

$$A = \left\{ \text{if } x_i \text{ is } \mu(x_i) \text{ then } y_j \text{ is } \mu(y_j) \right\}, i \in I, j \in J, \quad (4)$$

що відображає:

- 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 через знаходження нечіткого значення  $y'_j$  з наступною дефаззіфікацією.

Сформулюємо основні напрямки досліджень.

Для множини процесів, які будуть визначальними у сенсі (4), необхідно:

- розглянути та проаналізувати особливості функціонування автоматизованих виробничих систем з інтелектуальним управлінням складними об'єктами;

- розробити та удосконалити інтелектуальні моделі та методи маршрутизації мобільних об'єктів за обмежень на матеріальні та часові ресурси:  $(\tau, \varepsilon, O(n^*)) \rightarrow \min_{\Omega}$ , де  $\tau$  – час переміщення мобільного об'єкта;  $\varepsilon$  – похибка траєкторії мобільного об'єкта;  $O(n^*)$  – обчислювальна складність методу керування мобільним об'єктом.

Припускаючи, що стан мобільного об'єкта описується моделлю  $s = (x, y, z, \theta, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \dot{\theta}, \tau)$ ,  $\tau \in T$ , вважатимемо, що  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}) \xrightarrow{v_{\max} \leq \dot{S}^*, m \leq M^*} \text{const}$  та  $(\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}) \xrightarrow{v_{\max} \leq \dot{S}^*, m \leq M^*} 0$ , де  $v_{\max}$  – максимальна лінійна швидкість мобільного об'єкта;  $m$  – його маса;  $M^*$  та  $\dot{S}^*$  – відповідно гранична маса та гранична лінійна швидкість мобільного об'єкта;

- розробити нову гібридну модель на основі інтеграції частинних моделей маршрутизації мобільних об'єктів;

- розробити новий гібридний метод на основі частинних методів оптимізації керування мобільними об'єктами;

- запропонувати структуру методичних і програмних засобів реалізації функцій інтелектуального керування складними об'єктами;

- обґрунтувати підходи до практичної реалізації інтелектуальних процесів.

У **другому розділі** проведено аналіз існуючих моделей вирішення завдань оптимізації управління мобільними об'єктами. Розроблено гібридну модель

керування мобільними об'єктами на основі інтеграції нечітких мереж Петрі і моделей подання знань.

Нехай задана мережа Петрі у вигляді

$$\tilde{S}^{(\omega)} = \langle \tilde{P}, \tilde{T}, \tilde{F}, \tilde{M}_0, L_n, L_\omega, \{\tau_{i,j}\} \rangle. \quad (5)$$

Компоненти моделі  $\tilde{S}^{(\omega)}$  (5) визначені в нечіткому просторі станів  $\tilde{S}^{(\omega)}$ :  $\mu(\omega) \rightarrow [0, 1]$ . Тоді гібридна модель може бути подана у вигляді

$$\tilde{S}_{GM}^{(\omega)} = \tilde{S}^{(\omega)} \cup \{ \text{if } x_i \text{ is } \mu_{x_i} \text{ then } y \text{ is } \mu_y \}, \alpha \in A, \quad (6)$$

де  $\{ \text{if } x_i \text{ is } \mu_{x_i} \text{ then } y \text{ is } \mu_y \}, \alpha \in A$  – множина нечітких правил продукції;  $\alpha \in A$  – множина індексів правил продукції;  $\cup$  – символ, що визначає об'єднання множини компонент гібридної моделі, розширений функціонально на випадок процедур нечіткого логічного висновку Заде–Мамдані.

У роботі розроблені та запропоновані правила переміщення мобільних об'єктів, досліджена стохастична модель процесів на території виробничого приміщення. Стохастична модель подана у вигляді

$$S_P : P \left( \max_{i=1, K} |w_{s_i}(w_{n_1}, w_{n_2}, \dots, w_{n_k})| \leq \tau^* \right) \rightarrow \max_{(tr_1, tr_2, \dots, tr_K) \in \Omega}, \quad (7)$$

де  $\Omega = \left\{ (tr_1(G_{r_1}), tr_2(G_{r_2}), \dots, tr_K(G_{r_K})) : P \left( \max_{i=1, K} |w_{s_i}(w_{n_1}, w_{n_2}, \dots, w_{n_k})| \leq \tau^* \right) > \gamma \right\}$ ;

$w_{n_i} = w_n(b(tr(G_{r_i})))$  – шлях без очікувань  $i$ -го мобільного об'єкта;

$b(tr(G_{r_i})) \in B(tr(G_{r_i}))$  – випадковий вектор поломок  $i$ -го об'єкта;

$tr(G_{r_i}) \in TR(G_{r_i})$  – траєкторія  $i$ -го об'єкта;

$G_{r_i}$  – завдання  $i$ -го об'єкта, отримане в ході розбиття на завдання  $z \in Z$ ;

$z : G_m \rightarrow \{G_{r_1}, G_{r_2}, \dots, G_{r_k}\}$ .

Розроблено формальну модель переміщення мобільного об'єкта за заданою траєкторією, яка є розширенням існуючих моделей:

$$\tilde{S}_{\tilde{F}} : \delta = \max_{\substack{tr(G_{r_i}) \in TR(G_{r_i}) \\ \{\tau_j\}}} \frac{|\theta_\varphi|}{|L_{tr}(G_{r_i})|} \rightarrow \min_{\varphi \in \Phi}, \quad (8)$$

де  $|L_{tr}(G_{r_i})|$  – довжина лінії, рівновіддаленої від границь траєкторії;

$\{\tau_j\}, j \in J$  – часові залежності.

Задача оптимізації (8) – це задача пошуку такої функції регулювання  $\varphi$ , яка при заданих початкових умовах забезпечить рух мобільного об'єкта по трасі, найбільш близької до «ідеальної», що задається лінією  $L_{tr}$ .



Запропоновано модифікацію формальної моделі, яка визначає переміщення мобільного об'єкта в умовах перешкод:

$$\tilde{S}_{\tilde{F}}^{(m)} : D_{cp} = \frac{\sum_{k=1}^T |d_{r_i}^{(k)}|}{T} \rightarrow \min_{\substack{\varphi \in \Phi \\ tr(G_{r_i}) \in TR(G_{r_i}) \\ \{\tau_j\}}} , \quad (9)$$

де  $TR(G_{r_i})$  – множина можливих траєкторій мобільного об'єкта  $r_i$ ;

$T$  – довжина послідовності  $\{d_{r_i}^{(k)}\}$  вимірювань параметрів мобільного об'єкта;  $\{\tau_j\}, j \in J$  – часові залежності.

Набула подальшого розвитку нечітка модель переміщення мобільного об'єкта, яка, на відміну від існуючих, заснована на розроблених правилах переміщення і дозволяє оптимізувати управління системою мобільних об'єктів на основі розроблених критеріїв. Ця модель подана у вигляді

$$\tilde{F}(P, W) : R = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\bar{\omega}(X_j) - y^{\tilde{F}}(X_j))^2 \rightarrow \min_{(P, W) \in G} , \quad (10)$$

де  $G$  – множина обмежень для векторів параметрів  $P$  та  $W$ .

Модель (10) являє собою задачу мінімізації нев'язки функції  $y^{\tilde{F}}(X)$  на навчальній вибірці.

Вперше розроблена гібридна модель процесів керування мобільними об'єктами на основі інтеграції стохастичних, нечітких та мережевих моделей (6)–(9), що дозволяє здійснювати керування мобільними об'єктами за обмежень на часові та матеріальні ресурси, подана у вигляді

$$S_G : \begin{cases} \tilde{S}_{\tilde{F}}, \text{ if } A = true \wedge \tilde{\varphi} = true \wedge p_o < p^* \wedge T \geq T^*, \\ \tilde{S}_{\tilde{F}}^{(m)}, \text{ if } A = true \wedge \tilde{\varphi} = true \wedge p_o \geq p^* \wedge T \geq T^*, \\ S_p, \text{ if } A = true \wedge T < T^*, \\ \tilde{S}_{GM}^{(\omega)}, \text{ if } A = false, \end{cases} \quad (11)$$

де  $p_o$  – ризик виникнення перешкод на території;

$p^*$  – граничне значення ризику виникнення перешкод на території;

$T_o$  – напрацювання на відмову мобільного об'єкта;

$T^*$  – граничне значення часу напрацювання на відмову;

$A$  – предикат з наступних припущень у моделі (11):

1. Мобільний об'єкт завжди або стоїть на місці, або рухається з максимальною швидкістю  $v_{\max}$ .

2. Швидкість  $v_{\max}$  досить мала для того, щоб часом розгону і часом гальмування мобільного об'єкта можна було знехтувати.

3. Швидкість  $v_{\max}$  досить мала, а сила зчеплення з поверхнею досить велика для того, щоб при повороті з будь-якою можливою кутовою швидкістю мобільний об'єкт не «заносило».

4. Кутова швидкість мобільного об'єкта  $\vec{\omega} = \vec{\omega}(t)$  може бути змінена досить швидко для того, щоб впливом кутового прискорення на рух об'єкта можна було знехтувати.

5. Рішення про зміну кутової швидкості, а також про розгін або гальмування мобільного об'єкта приймається внаслідок вимірювань, отриманих за допомогою системи технічного зору мобільного об'єкта, які виконуються з періодом  $\tau_{\min}$ .

6. У разі зіткнення мобільного об'єкта з перешкодою відбувається його екстрене гальмування.

У **третьому розділі** вперше розроблено новий інтелектуальний гібридний метод маршрутизації мобільних об'єктів, який включає об'єднання частинних методів і дозволяє оптимізувати управління процесами при обмеженнях на часові та матеріальні ресурси:

$$M_G = \cup \left( \tilde{M}_{\tilde{F}}, \tilde{M}_{\tilde{F}}^{(m)}, M_P, \tilde{M}_{GM}^{(\omega)} \right), \quad (12)$$

де  $\tilde{M}_{\tilde{F}}$  – метод налаштування нечіткої моделі  $\tilde{S}_{\tilde{F}}$  (8);  $\tilde{M}_{\tilde{F}}^{(m)}$  – метод налаштування модифікованої нечіткої моделі  $\tilde{S}_{\tilde{F}}^{(m)}$  (9);  $M_P$  – метод оптимізації траєкторій мобільних об'єктів згідно зі стохастичною моделлю  $S_P$  (7);  $\tilde{M}_{GM}^{(\omega)}$  – метод аналізу досяжності на гібридній мережевій моделі  $\tilde{S}_{GM}^{(\omega)}$  (6).

Нехай мережа Петрі задана матрицею інцидентності  $H$ , а також задане початкове маркування  $\mu_0$  і кінцеве  $\mu_n$ . Тоді запропонований метод  $\tilde{M}_{GM}^{(\omega)}$  аналізу досяжності на моделі (6) складається з таких основних етапів:

Етап 1. З рядків матриці  $H$  формуємо підматриці  $H_i$  з лінійно незалежними рядками.

Етап 2. Для кожної з підмереж, що визначаються матрицями інцидентності  $H_i$ , перевіряємо досяжність кінцевого маркування  $\mu_n$  з початкового маркування  $\mu_0$ :

2.1. Формуємо список досяжних маркувань, який спочатку містить тільки маркування  $\mu_0$ .

2.2. За формулою

$$\sigma = (\mu_n - \mu_0) \cdot H^{-1}, \quad (13)$$

яка є наслідком з рівняння Мурати, обчислюємо вектор запусків переходів  $\sigma$ . Якщо  $\sigma$  містить нецілі або від'ємні компоненти, то  $\mu_n$  недосяжна з  $\mu_0$ . Інакше переходимо до пункту 2.3.

2.3. Для кожного маркування зі списку досяжних маркувань додаємо в цей список всі маркування, досяжні з нього шляхом запуску рівно одного

переходу  $\tilde{t}_i \in \tilde{T}$ , для якого виконується  $(M(\tilde{p}_{in}) > 0) \wedge (\mu_{t_i} > \mu_{t_i}^*)$ , після чого видаляємо зі списку всі «старі» маркування.

2.4. Для кожного з «нових» маркувань перевіряємо досяжність з неї маркування  $\mu_n$  за формулою (13). Якщо  $\mu_n$  недосяжна з будь-якого «нового» маркування, то це маркування також необхідно вилучити зі списку.

2.5. Якщо на деякому етапі список досяжних маркувань міститиме  $\mu_n$ , то  $\mu_n$  досяжна з  $\mu_0$ . Якщо список досяжних маркувань буде порожнім, це свідчить про недосяжність маркування  $\mu_n$  з маркування  $\mu_0$ . Інакше переходимо до пункту 2.3.

Етап 3. Виконуємо аналіз досяжності для вихідної мережі. Якщо досяжність виконана хоча б для однієї з підмереж, то вона також виконується для вихідної мережі. В іншому випадку в вихідній мережі  $\mu_n$  недосяжна з  $\mu_0$ .

Етап 4. Якщо умову етапу 3 не можна реалізувати, то модифікуємо вихідну мережеву модель.

Етап 5. Здійснюємо повторний прогін згідно з етапами 1–4. Останов.

Обчислювальна складність  $O(\tilde{M}_{GM}^{(\omega)})$  даного методу є експоненціальною.

Метод  $M_p$  розв'язання задачі (7) складається з таких етапів:

Етап 1. Знаходження оптимального розбиття на завдання  $z^*$ .

Етап 2. Знаходження оптимальних траєкторій  $\{tr_i^*(G_{r_i}^*)\}$  згідно з завданнями  $G_{r_1}^*, G_{r_2}^*, \dots, G_{r_k}^*$  відповідно.

Етап 3. Перевірка того, що мобільні об'єкти, рухаючись за оптимальними траєкторіями, виконують завдання за час  $\tau^*$  з імовірністю не менш ніж  $\gamma$ .

Етап 4. Останов.

Обчислювальна складність  $O(M_p)$  методу подана у вигляді полінома третього порядку.

Методи  $\tilde{M}_{\tilde{F}}$  та  $\tilde{M}_{\tilde{F}}^{(m)}$  налаштування нечітких моделей (8) и (9) відповідно подаються у вигляді таких етапів:

Етап 1. Визначення нечітких термів для параметрів зміщення  $d$ , кута повороту  $\alpha$  та кутової швидкості  $\omega$  мобільних об'єктів, а також їх функцій належності.

Етап 2. Скласти систему правил продукції виду

$$R_{ij} : \text{якщо } d \in \tilde{d}_i \text{ та } \alpha \in \tilde{\alpha}_j \text{ з вагою } w_{ij}, \text{ то } \omega \in \tilde{\omega}_k$$

де  $\tilde{d}_i$ ,  $\tilde{\alpha}_j$ ,  $\tilde{\omega}_k$  – нечіткі терми для параметрів  $d$ ,  $\alpha$  і  $\omega$  відповідно.

Етап 3. Згенерувати навчальну вибірку для налаштування параметрів нечіткої моделі, зокрема – параметрів розподілу нечітких термів  $\tilde{d}_i$ ,  $\tilde{\alpha}_j$ ,  $\tilde{\omega}_k$  і ваг правил  $w_{ij}$ .

Етап 4. Налаштувати отриману нечітку модель, розв'язавши задачу оптимізації (10) за допомогою модифікованого методу надшвидкого відпалу.

Етап 5. Останов.

Обчислювальну складність  $O(\tilde{M}_{\tilde{F}})$  та  $O(\tilde{M}_{\tilde{F}}^{(m)})$  розроблених методів налаштування нечітких моделей (8) і (9) відповідно можна подати у вигляді полінома другого порядку.

Тоді новий інтелектуальний гібридний метод (12) складається з таких етапів:

Етап 1. Якщо виконуються припущення предиката  $A$  гібридної моделі (11), тобто  $A = true$ , а напрацювання на відмову мобільного об'єкта  $T_o < T^*$ , виконуємо етапи методу  $M_p$  та переходимо до етапу 5.

Етап 2. Якщо  $A = true$ , причому  $T_o \geq T^*$ , а ризик виникнення перешкод на території  $p_o < p^*$ , виконуємо етапи методу  $\tilde{M}_{\tilde{F}}$  та переходимо до етапу 5.

Етап 3. Якщо  $A = true$ ,  $T_o \geq T^*$  та  $p_o \geq p^*$ , виконуємо етапи методу  $\tilde{M}_{\tilde{F}}^{(m)}$  та переходимо до етапу 5.

Етап 4. Якщо  $A = false$ , виконуємо етапи методу  $\tilde{M}_{GM}^{(\omega)}$  та переходимо до етапу 5.

Етап 5. Останов.

Застосування методу (12) дозволило на множині обмежень підвищити якість та ефективність управління мобільними об'єктами в умовах невизначеності. Час переміщення вантажів мобільними об'єктами при обмеженнях  $N \leq 22$ ,  $M \leq 22$ ,  $K \leq 150$ , де  $N, M$  – розміри поля в клітинах,  $K$  – кількість мобільних об'єктів на полі, складає  $\tau \leq 20$  хвилин, що є задовільним.

Виконано перевірку адекватності методів за критеріями досяжності і конфліктів, часових і точнісних характеристик. Підтверджено ефективність розробок. Розроблений гібридний метод є основою аналізу процесів мобільних об'єктів.

У четвертому розділі запропоновані практичні аспекти впровадження результатів дисертаційної роботи. Запропоновано методичні аспекти вирішення прикладних завдань керування мобільними об'єктами в ході використання інтеграції стохастичних і нечітких методів і моделей. Структура методичних засобів реалізації функцій інтелектуального аналізу складних об'єктів включає множини: інтелектуальних моделей маршрутизації мобільних об'єктів  $\{S_i\}, i \in I, i = \overline{1,4}$ ; інтелектуальних методів оптимізації керування складними об'єктами на основі знання орієнтованих 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 керування моделюванням об'єкта за критерієм мінімізації обчислювальної складності.

Для реалізації задач інтелектуального аналізу даних запропонована структура програмних засобів. Змістовний аналіз існуючих рішень дозволив сформулювати деякі основні вимоги та реалізацію програмного середовища.

Структура програмних засобів складається з таких модулів: модуль перевірки адекватності моделі за заданими критеріями досяжності та конфліктних ситуацій, реалізований мовою C++ у середовищі Visual Studio; а також модулі стохастичної маршрутизації, нечіткої маршрутизації (з урахуванням та без урахування перешкод), інтелектуального аналізу даних і знань, контролю адекватності та модифікації даних і знань, реалізовані мовою Java у середовищі IntelliJ Idea.

Запропоновано UML-діаграми класів, що підтверджують адекватність розробки. Наведено приклади виконання програмних модулів.

Отримано результати дисертаційних досліджень на об'єктах впровадження. Виконано моделювання переміщення мобільних об'єктів на виробничих ділянках. Результати моделювання для чотирьох різних фрагментів виробничих ділянок наведено на рис. 1–4.

Визначено помилки середнього відхилення від траєкторії і відносні похибки методу. Проведено порівняння отриманих результатів з існуючими рішеннями – програмним методом та методом Моханті на основі адаптивної нейро-фаззи системи. Отримані результати для чотирьох фрагментів, для яких проводилося моделювання, наведено у табл. 1–4.

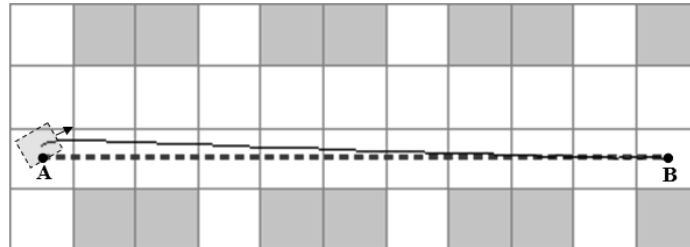


Рисунок 1 – Моделювання переміщення мобільного об'єкта за прямолінійним фрагментом

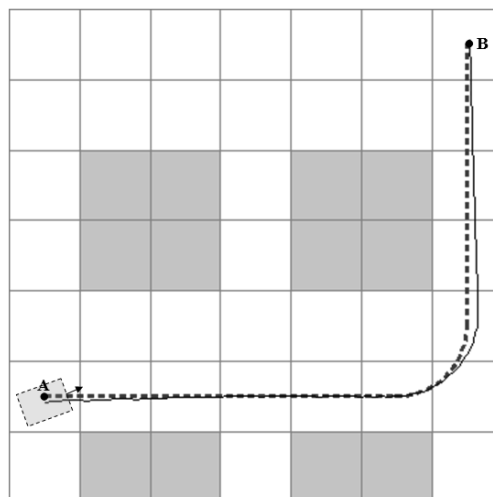


Рисунок 2 – Моделювання переміщення мобільного об'єкта за фрагментом з одним поворотом

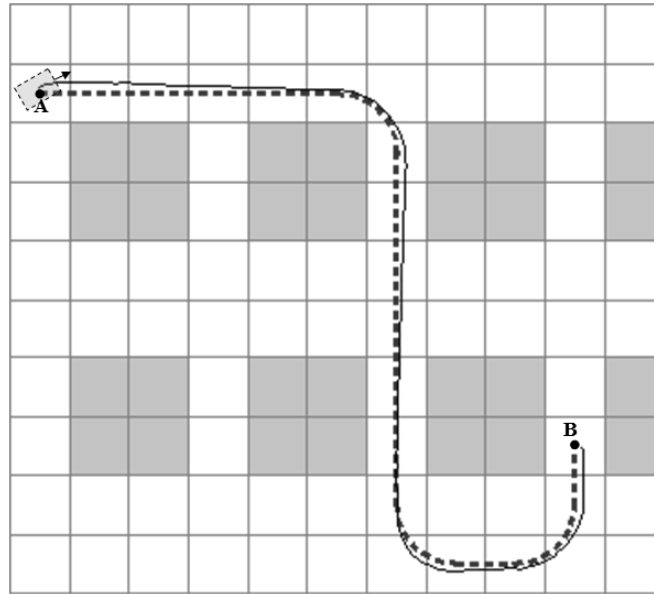


Рисунок 3 – Моделювання переміщення мобільного об'єкта за фрагментом з кількома поворотами

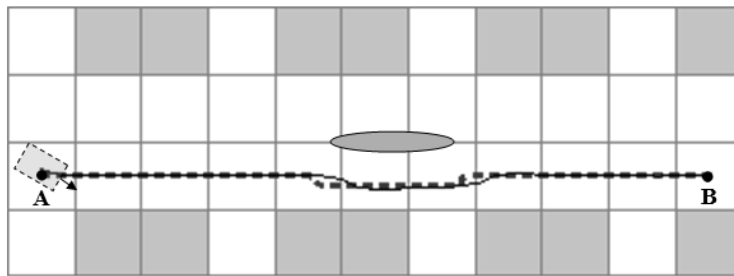


Рисунок 4 – Моделювання переміщення мобільного об'єкта за прямолінійним фрагментом з перешкодою

Таблиця 1 – Порівняння результатів моделювання для прямолінійного фрагмента

Параметри	Програмний метод	Метод Моханті	Запропонований метод нечіткої оптимізації
$L/L_{opt}$	1,04	1,03	1,01
$t, сек$	12,0	10,9	10,1
$d_{cp}, м$	0,18	0,14	0,16

Таблиця 2 – Порівняння результатів моделювання для фрагмента з одним поворотом

Параметри	Програмний метод	Метод Моханті	Запропонований метод нечіткої оптимізації
$L/L_{opt}$	1,06	1,04	1,01
$t, сек$	12,2	11,6	10,7
$d_{cp}, м$	0,15	0,13	0,09

Таблиця 3 – Порівняння результатів моделювання для фрагмента з декількома поворотами

Параметри	Програмний метод	Метод Моханті	Запропонований метод нечіткої оптимізації
$L/L_{opt}$	1,09	1,05	1,02
$t, сек$	19,9	19,6	18,1
$d_{cp}, м$	0,17	0,13	0,12

Таблиця 4 – Порівняння результатів моделювання для прямолінійного фрагмента з перешкодою

Параметри	Програмний метод	Метод Моханті	Запропонований метод нечіткої оптимізації
$L/L_{opt}$	1,03	1,04	1,00
$t, сек$	11,5	11,0	10,15
$d_{cp}, м$	0,08	0,07	0,05

Як видно з таблиць 1-4, запропонований метод, порівняно з існуючими, зменшує середній час функціонування мобільного об'єкта до 10%, середню довжину траєкторії до 5% і середнє відхилення від траєкторії – до 30%. Таким чином, результати моделювання показали, що запропонований метод має значні переваги над існуючими.

Результати наукових досліджень впроваджені у виробництво. Комплекс дій привів до підвищення ефективності керування складними об'єктами, а також до скорочення часових витрат у виробничих процесах підприємств ТОВ «Дніпро-Трейд» (Запоріжжя) та ДП «Науково-дослідний технічний інститут приладобудування» (Харків) до 11%, що підтверджено актами.

У додатку наведені акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, відповідно до поставленої мети та задач, наведені теоретичне узагальнення і нове розв'язання наукової задачі, що полягає в розробці методів і моделей інтелектуальної маршрутизації мобільних об'єктів, що функціонують за умов невизначеності. Порівняно з існуючими методами і моделями, отримані наукові та практичні результати дозволяють моделювати, аналізувати та оцінювати якість управління системою мобільних об'єктів на основі детермінованих, імовірнісних і нечітких моделей. Отримані результати мають важливе наукове і практичне значення для реалізації адаптивних інтелектуальних систем управління складними об'єктами.

Під час виконання досліджень отримані нові наукові та практичні результати:

1. Виконано аналітичний огляд існуючих методів та моделей розв'язання задач оптимізації керування мобільними об'єктами. Визначено необхідність розробки нових моделей і методів маршрутизації складних об'єктів, що дозволяють підвищити ефективність інтелектуального керування об'єктами за обмежень на часові і матеріальні ресурси.

2. Вперше розроблено гібридний метод маршрутизації мобільних об'єктів, який включає об'єднання частинних методів і дозволяє оптимізувати керування процесами за обмежень на часові і матеріальні ресурси.

3. Вперше розроблено гібридну модель процесів керування мобільними об'єктами на основі інтеграції стохастичних, нечітких та мережевих моделей, що дозволяє здійснювати керування мобільними об'єктами при обмеженнях на часові і матеріальні ресурси.

4. Розроблені та удосконалені методи аналізу процесів на гібридній моделі, які реалізують інтелектуальні функції і технології на основі правил функціонування об'єкта на множині частинних моделей.

5. Набула подальшого розвитку нечітка модель переміщення мобільного об'єкта, яка, на відміну від існуючих, заснована на розроблених правилах переміщення і дозволяє оптимізувати керування системою мобільних об'єктів на основі розроблених критеріїв.

6. Розроблені та обґрунтовані в дисертаційній роботі нові гібридні методи і моделі є теоретичною базою вирішення задач оптимізації керування складними об'єктами за різних припущень та критеріїв якості.

У роботі запропоновані й обґрунтовані:

– методичні аспекти вирішення прикладних завдань керування мобільними об'єктами при використанні інтеграції стохастичних і нечітких методів і моделей;

– розроблена структура програмних засобів інтелектуального керування мобільними об'єктами, що реалізує об'єктно-орієнтовані технології.

Отримані теоретичні результати обґрунтовані, досліджені та впроваджені у виробництво, де вони показали свою значимість і переваги над відомими рішеннями.

7. Результати наукових досліджень впроваджено у виробництво. Комплекс дій привів до підвищення якості керування мобільними об'єктами, скорочення витрат часу у виробничих процесах підприємств ТОВ «Дніпро-Трейд» (Запоріжжя) та ДП НДТІП (Харків) до 11%, що підтверджено актами: акт від 19.05.2014 р.; акт від 14.11.2014 р., впровадженням результатів дисертаційних досліджень у навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ), що підтверджено актом від 12.06.2014 р.

8. Результати теоретичних і практичних досліджень доцільно розвивати і використовувати в наукових, науково-технічних і технологічних розробках,



вони можуть бути адаптовані і впроваджені в інтелектуальних засобах управління складними об'єктами інших предметних областей.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кучеренко Е. И. Методы анализа достижимости на сетевых моделях в задачах проектирования сложных систем / Е. И. Кучеренко, А. Д. Дрюк // Технология приборостроения. – № 2, 2011. – С. 37–42.
2. Кучеренко Е.И. Стохастические модели и методы субоптимальной маршрутизации сложных объектов / Е.И. Кучеренко, А.Д. Дрюк // Бионика интеллекта. – №1 (80), 2013. – С. 45–53.
3. Kucherenko Ye.I. Fuzzy models in problems of complex systems control / Ye.I. Kucherenko, O.D. Driuk // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2014. – № 1(30). – С. 69 – 74 (Входить до міжнародних наукометричних баз INSPEC, Index Copernicus, INIS, EBSCO, DOI, Ulrich's).
4. Кучеренко Е. И. Расширение методов интеллектуального управления сложными объектами / Е. И. Кучеренко, А. Д. Дрюк // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – №4/3 (70). – С. 13–17. (Входить до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, INIS, Ulrich's, DOI).
5. 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 міжнародних наукометричних баз INSPEC, Index Copernicus, INIS, EBSCO, DOI, Ulrich's).
6. Кучеренко Е. И. Расширение нечеткой модели процессов управления мобильным объектом / Е. И. Кучеренко, А. Д. Дрюк // Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України. – 2015. – №1 (18) – С. 114–121.
7. Кучеренко Е. И. Метод декомпозиции безопасных сетей Петри для анализа производственных систем / Е. И. Кучеренко, А. Д. Дрюк, С. А. Нестерцова // I Всеукраїнська науково-практична та студентська конференція «Проблеми розвитку та впровадження систем керування, стандартизації, сертифікації, метрології у регіонах України», 24-26 травня 2011 р.: матер. конф. – Донецьк, 2011. – С. 181–183.
8. Кучеренко Е. И. Моделирование дискретных динамических процессов с использованием сетевых моделей / Е. И. Кучеренко, А. Д. Дрюк // X Всеукраїнська науково-технічна конференція «Математичне моделювання та інформаційні технології», 23-25 листопада 2011 р.: матер. конф. – Одеса, 2011. – С. 71-72.
9. Кучеренко Е. И. О развитии метода оптимизации транспортировки грузов на основе стохастических графов / Е. И. Кучеренко, А. Д. Дрюк // Международная научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии», 22-29 сентября 2012 г.: матер. конф. – Харьков, 2012. – С. 33.
10. Кучеренко Е. И. Знание ориентированные технологии в управлении мобильными объектами / Е. И. Кучеренко, А. Д. Дрюк // Всеукраїнська

науково-практична конференція аспірантів, молодих учених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості», 8-11 жовтня 2013 р.: матер. конф. – Івано-Франківськ, 2013. – С. 28–29.

11. Кучеренко Е. И. Интеллектуальные методы в управлении мобильными объектами / Е. И. Кучеренко, А. Д. Дрюк // 3 Международная научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии», 15-21 сентября 2014 г.: матер. конф. – Харьков, 2014. – С.58–59.

12. Kucherenko Ye. I. Methods of analysis and control of complex intelligent objects / Ye. I. Kucherenko, V. Ye. Ovcharenko, O.D. Driuk // VII Міжнародна школа-семінар «Теорія прийняття рішень», 29 вересня – 4 жовтня 2014 р.: матер. конф. – Ужгород, 2014. – С. 13–14.

13. Дрюк А. Д. Метод декомпозиции на цветных моделях для управления мобильными роботами / А. Д. Дрюк // XVI Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 17-19 апреля 2012 г.: матер. конф. – Харьков, 2012. – Том 6. – С. 27–28.

14. Дрюк А. Д. Метод маршрутизации мобильных объектов на производственных участках / А. Д. Дрюк // XVII Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 22-24 апреля 2013 г.: матер. конф. – Харьков, 2013. – Том 6. – С. 57–58.

15. Дрюк А. Д. Гибридные модели в системах принятия решений / А. Д. Дрюк // XVIII Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 14-16 апреля 2014 г.: матер. конф. – Харьков, 2014. – Том 6. – С. 30–31.

16. Дрюк А. Д. Прикладные аспекты маршрутизации мобильных объектов на основе интеграции вероятностной и нечеткой логики / А. Д. Дрюк // XIX Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 20-22 апреля 2015 г.: матер. конф. – Харьков, 2015. – Том 6. – С. 24–25.

## АНОТАЦІЯ

**Дрюк О.Д. Методи та моделі маршрутизації мобільних об'єктів на основі інтеграції ймовірнісної та нечіткої логіки. – 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 інтелектуальних методів та моделей керування складними об'єктами, що функціонують за умов невизначеності та обмежень на часові та матеріальні ресурси.

У роботі проведено аналітичний огляд особливостей розвитку інтелектуальних методів, моделей та підходів до оптимізації керування мобільними об'єктами. Отримано нові наукові результати, що мають переваги над існуючими рішеннями. Запропонований новий гібридний метод

маршрутизації мобільних об'єктів. Запропонована нова гібридна модель процесів керування мобільними об'єктами на основі інтеграції стохастичних, нечітких та мережевих моделей. Удосконалений новий метод аналізу процесів на гібридній моделі, який додатково включає інтелектуальні функції та технології на основі правил функціонування об'єкта на множині частинних моделей. Набула подальшого розвитку нечітка модель переміщення мобільного об'єкта, заснована на формальних правилах переміщення, що дозволяє оптимізувати керування системою мобільних об'єктів на основі розроблених критеріїв. Отримані теоретичні результати обґрунтовані, досліджені й впроваджені у виробництво, де вони продемонстрували свої переваги й значимість над відомими рішеннями.

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

**Ключові слова:** нечітка логіка, гібридна модель, гібридний метод, мережа Петрі, досяжність, оптимізація, маршрутизація, терм, функція належності, метод надшвидкого відпалу.

## АННОТАЦІЯ

**Дрюк А.Д. Методы и модели маршрутизации мобильных объектов на основе интеграции вероятностной и нечеткой логики. – 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 методов и моделей интеллектуальной маршрутизации сложных объектов для повышения эффективности и качества автоматизации производственных предприятий. Также в работе выполнен содержательный анализ и исследование детерминированных, стохастических 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 интеллектуальных методов, моделей и подходов к управлению мобильными объектами. В отличие от существующих методов и моделей, полученные научные и практические

результаты позволяют оптимизировать управление сложными объектами, процессы в которых представлены на основе детерминированных, стохастических и нечетких представлений на множестве отношений «условие-действие», при условиях ограничений на временные и материальные ресурсы.

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

Получены новые научные результаты, которые имеют преимущества над существующими решениями. Научная новизна полученных результатов заключается в том, что: впервые разработан новый гибридный метод маршрутизации мобильных объектов, который включает объединение частных методов и позволяет оптимизировать управление процессами при ограничениях на временные и материальные ресурсы, что позволяет повысить эффективность систем; впервые разработана новая гибридная модель процессов управления мобильными объектами на основе интеграции стохастических, нечетких и сетевых моделей, позволяющая осуществлять управление мобильными объектами при ограничениях на временные и материальные ресурсы с учетом погрешностей мобильного объекта; усовершенствован новый метод анализа процессов на гибридной модели, который, в отличие от существующих, дополнительно включает интеллектуальные функции и технологии на основе правил функционирования объекта на множестве частных моделей, что позволяет повысить эффективность и достоверность анализа; получила дальнейшее развитие нечеткая модель перемещения мобильного объекта, которая, в отличие от существующих, основана на формальных правилах перемещения и позволяет оптимизировать управление системой мобильных объектов на основе разработанных критериев. Определены границы адекватности разработанных методов в программной среде IntelliJ Idea и их вычислительная сложность, которая при заданных ограничениях близка к квадратичной.

Разработанные и обоснованные в диссертационной работе новые методы и гибридные модели являются теоретической базой решения практических задач оптимизации управления сложными объектами с целью повышения эффективности и качества функционирования производственных объектов.

Опытная эксплуатация интеллектуальных средств управления сложными объектами подтвердила высокое качество и эффективность 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 моделей и адаптация полученных результатов на объектах предметных областей.

**Ключевые слова:** нечеткая логика, гибридная модель, гибридный метод, сеть Петри, достижимость, оптимизация, маршрутизация, терм, функция принадлежности, метод сверхбыстрого отжига.

## ABSTRACT

**Driuk O.D. Methods and models of mobile objects routing based on integration of probabilistic and fuzzy logics. – Manuscript.**

The thesis for the candidate degree in technical sciences in the specialty 05.13.23 – systems and means of artificial intelligence. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2015.

The thesis is devoted to the development of new methods and models of intelligent control of complex objects, which operate under conditions of uncertainty and constraints on time and material resources.

An analytical review of development features of intelligent methods, models and approaches to optimization of mobile objects control. Obtained new scientific results that have advantages over existing solutions. A new hybrid method for routing mobile objects has been proposed. A new hybrid model of mobile objects control processes based on the integration of stochastic, fuzzy and network models has been developed. Advanced new method of analysis processes on hybrid models, further comprising intelligent features and technologies based on the rules of the object on the set of partial models. Further developed fuzzy model of mobile object movement, based on formal movement rules to optimize the system of mobile objects management based on the developed criteria. The theoretical results have been proved, explored and introduced in production, where they showed their significance and advantages on the known solutions.

A further step in this direction research is to improve the mathematical apparatus building models and adaptation of the results to sites domains.

**Keywords:** fuzzy logic, hybrid model, hybrid method, Petri nets, reachability, optimization, routing, term, membership function, method of ultrafast annealing.

Підп. до друку 03.11.2015 р. Формат  $60 \times 84^{1/16}$ . Спосіб друку – ризографія.  
Умов. друк. арк. 1,2. Облік. вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим. Зам. № \_\_\_\_\_.

---

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

---

Віддруковано в навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі

ХНУРЕ.

Україна, 61166, Харків, просп. Леніна, 14