

В.А. Кирилович, к.т.н., доц.
І.Ю. Черепанська, асист.

Житомирський державний технологічний університет

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖ ДЛЯ ЗАДАЧ КЛАСИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Запропоновано підхід до створення автоматизованої класифікації об'єктів виробництва гнучких виробничих систем на загальній методологічній основі з використанням нейромережових технологій.

Постановка проблеми. Розв'язання задач класифікації об'єктів виробництва (ОВ) – деталей, складальних одиниць, комплектуючих виробів та пристроїв орієнтування (ПО), які взаємодіють з ОВ при їх автоматичному орієнтуванні, є одним із важливих завдань при проектуванні системи орієнтування об'єктів виробництва (СООВ) [7, 12], що складається з ОВ та ПО та передбачає створення логічного формалізованого взаємозв'язку між ними шляхом співставлення необхідних за технологією орієнтуючих рухів ОВ при автоматичному орієнтуванні та функціональних можливостей ПО. Проектування СООВ є одним із перспективних напрямків моделювання гнучких виробничих систем (ГВС).

Аналіз останніх джерел і публікацій показав, що відомі класифікації ОВ [1, 3, 9, 13, 14, 15] мають ряд очевидних недоліків: відсутність формалізованих описів об'єктів класифікації, що унеможливило визначення відповідності між властивостями ОВ та функціональними можливостями ПО щодо автоматичного орієнтування ОВ; відсутність методики співставлення функцій ПО щодо автоматичного орієнтування ОВ; обмеженість класифікацій як результат неохоплення всього різноманіття існуючих форм ОВ; недостатність представленої інформації для автоматизованого вибору способу орієнтування ОВ і відповідних конструкції ПО для реалізації технології автоматичного орієнтування. Таким чином, дані класифікації не можуть бути застосовані для створення формалізованого взаємозв'язку між складовими СООВ в результаті їх невідповідності змісту поставленої задачі, але об'єм та зміст представленої в них інформації дозволяє її часткове використання після відповідної обробки та адаптації для побудови більш універсальної класифікації ОВ з перспективою її подальшого узгодження з класифікацією ПО.

Мета статті. На підставі аналізу відомих видів та методів класифікацій розробити автоматизовану класифікацію ОВ як складових СООВ з використанням технології штучних нейронних мереж, що в подальшому забезпечить автоматизований вибір ПО за попередньо розробленою їх автоматизованою класифікацією на основі штучних нейронних мереж.

Основний матеріал. Класифікації складових СООВ, зокрема ОВ, повинні відповідати певним вимогам щодо забезпечення: подальшого розвитку класифікацій, необхідність чого полягає у постійному розвитку та ускладненні конструкцій ПО та номенклатури ОВ, а також способів та методів орієнтування; автоматизованої обробки представленої в класифікації інформації; постійної актуалізації інформації про об'єкти класифікації, в тому числі відповідність їх техніко-економічних та конструктивно-технічних показників вимогам технології автоматичного орієнтування, наприклад, для складального процесу (заданій точності орієнтування, продуктивності, гнучкості та дискретності технологічних процесів, собівартості, збереження форми ОВ тобто уникнення їх деформації тощо) та побудові на її основі системи кодування об'єктів класифікації; сумісність системи кодування і класифікації ПО та ОВ з можливістю їх взаємодії в загальній інформаційно-технологічній системі, наприклад, СООВ, за рахунок використання єдиної науково-методичної основи, а також новітніх інформаційних технологій, що забезпечує створення формалізованого функціонального взаємозв'язку складових СООВ із змістовною, безбитковою, лаконічною, інформаційною та однозначною структурою. Для зазначеного пропонується використання апарата штучних нейронних мереж (ШНМ) [2, 4, 11] – набору математичних і алгоритмічних методів для розв'язання широкого кола задач, серед яких особливе місце займають задачі класифікації або розпізнавання образів. Наприклад, ШНМ Кохонена, яка дозволяє динамічно змінювати структуру вхідних та вихідних даних, що визначається постійним розвитком та ускладненням конструкцій ПО, та номенклатури ОВ, а також способів та методів орієнтування. Це вигідно відрізняє її від інших ШНМ, зокрема ШНМ Хопфілда, ШНМ Хеммінга, багатошарового перцептрон, мережі з радіальними базисними елементами (RBF) тощо [4].

В контексті вирішуваних задач ШНМ дозволяють автоматизувати обробку вихідної інформації про складові СООВ, зокрема автоматизувати розв'язання задач класифікації ПО та ОВ з використанням множини характеристик та ознак цих об'єктів, складним чином пов'язаних між собою, та віднесення об'єкта класифікації відповідному класу в режимі реального часу [2, 4, 8]. Крім того, висока оперативність та ймовірність обробки інформації, а також проста навчальність та перенавчальність дозволяють при зміні зовнішніх факторів вчасно здійснювати перехід на нові види розв'язуваних задач.

Конкретний вид перетворення даних, що виконується ШНМ, визначається не тільки характеристиками штучних нейронів, що складають її, а також особливостями архітектури, зокрема вибором підмножин нейронів для вводу та виводу даних. У зв'язку з цим синтез ШНМ для автоматизованої класифікації ОВ вимагає попереднього розв'язання задач визначення компонент вхідного та вихідного векторів з наступним вибором кількості нейронів, їх входів та шарів ШНМ. ШНМ Кохонена структуровано представляється штучними нейронами з числом входів, що дорівнює числу компонент вхідного та вихідного векторів [4].

Таким чином, розв'язання задачі автоматизованої класифікації складових СООВ, зокрема ОВ, передбачає попередню та коректну підготовку даних. Вона полягає в розбитті класифікованої множини ОВ на групи, наприклад, з використанням фасетного методу, який має ряд основних переваг порівняно з ієрархічним та дискрипторним методами та визнаний як найбільш ефективний для класифікації об'єктів машино- та приладобудування [1, 3, 12]. Крім того, множина ОВ повинна бути розбита на фасетні групи таким чином, щоб досягти мінімальної кількості входів ШНМ. Доведено, що велика кількість входів ШНМ може призвести до ускладнення задачі класифікації, навчання ШНМ та збільшення кількості помилок класифікації. Відповідно до вимог НМ-технології кожна фасета повинна бути описана набором класифікаційних ознак об'єкта класифікації з їх формалізованим представленням та у вигляді так званих вхідних векторів.

Для функціонального узгодження систем класифікацій ПО та ОВ та з врахуванням особливостей ШНМ класифікація ОВ повинна проводитись для можливості їх (ОВ) автоматичного орієнтування з врахуванням їх конструктивних особливостей та фізико-механічних властивостей.

Для успішної класифікації ОВ з використанням ШНМ їх класифікаційні ознаки пропонується умовно розбити на основну та додаткову фасетні групи. До основної фасетної групи можуть бути віднесені фасети, класифікаційні ознаки яких несуть визначаючу ОВ інформацію, тобто інформацію про технологію автоматичного орієнтування [6], про можливість автоматичного орієнтування [1, 9, 13, 15], про конструктивно-геометричні особливості ОВ [9, 14]. До додаткової фасетної групи можуть бути віднесені фасети, класифікаційні ознаки яких несуть уточнюючу інформацію щодо вибору ПО для автоматичного орієнтування. Такими ознаками можуть бути фізико-механічні властивості матеріалу ОВ [13, 14] тощо. Тому формалізований опис властивостей ОВ в запропонованому вигляді може бути представлений виразом:

$$O \rightarrow \{\Phi_C, \Phi_\phi, \Phi_{KO}, \Phi_{DO}\}, \tag{1}$$

де O – фасетна формула опису властивостей ОВ; Φ_C – фасет „Симетричність”, що характеризує симетрію ОВ, тобто наявність осей і площин симетрії та їх взаємне розташування; Φ_ϕ – фасет „Форма”, що характеризує особливості форми ОВ, наприклад, циліндрична або призматична; Φ_{KO} – фасет „Конструктивні особливості” – характеризує наявність зовнішніх або внутрішніх конструктивних елементів ОВ; Φ_{DO} – фасет „Додаткові ознаки” визначає конструкційний матеріал ОВ та його феромагнітні та електродинамічні властивості, відбиваючі ознаки.

Кожен фасет можна представити як набір певних характеристик ОВ, наприклад, геометричної форми, фізико-механічних властивостей матеріалу тощо. При цьому формалізація класифікаційних ознак ОВ дозволяє представити кожен фасет у вигляді вектора $x^s = \{x_1^s, \dots, x_{n_i}^s\}$ певної розмірності, де n_i – кількість класифікаційних ознак фасета, s – кількість класифікаційних фасет множини ОВ.

Так, наприклад, класифікаційними ознаками фасета Φ_C „Симетричність” виступають ознаки наявності, кількості та взаємного розташування осей обертання та площин симетрії ОВ. Відповідно до цього в основу формалізованого опису фасета пропонується покласти такі характеристики ОВ, як наявність у нього тільки однієї осі обертання o , однієї площини симетрії p_1 та осі обертання o , двох площин симетрії p_1, p_2 та осі обертання o , або трьох площин симетрії p_1, p_2, p_3 . Причому взаємне розташування осі обертання і площин симетрії може бути паралельним та перпендикулярним.

Таким чином, формалізований опис класифікаційної ознаки симетричності певного ОВ можна представити у вигляді:

$$\Phi_C = o, p_i, \tau, \tag{2}$$

де o – наявність у ОВ осі обертання; p_i – наявність у ОВ площин симетрії, $p_i \in (p_1, p_2, p_3)$, де p_1, p_2, p_3 – площина симетрії, що перпендикулярна до осі обертання; паралельна осі обертання, тобто проходить через неї, та перпендикулярна іншій площині при відсутності у ОВ осі обертання відповідно; τ – вид взаємного розташування осей, площин симетрії, тобто паралельно та/або перпендикулярно, $\tau \in \{\parallel, \perp\}$.

Аналіз різних ОВ [5] показав, що віссю обертання можуть бути вісь x та y , а площинами, що взаємно розташовані із нею XOY, XOZ, YOZ можливі різні осі та площин симетрії.

Тому формалізований опис фасета Φ_C може бути представлений упорядкованою множиною послідовно з'єднаних логічною функцією виключної диз'юнкції ∇ формалізованих описів всіх класифікаційних ознак цього фасета:

$$\Phi_C \rightarrow \{o \nabla p \nabla (p_1 \perp o) \nabla (p_1 \perp o \parallel p_2) \nabla (o \parallel p_2) \nabla (p_1 \perp p_2) \nabla (p_1 \perp p_2 \perp p_3)\}. \tag{3}$$

Алфавіт формалізованого опису класифікаційних ознак фасета Φ_C „Симетричність”, їх векторне представлення та приклади векторних та формалізованих описів відповідних ознак наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Алфавіт, приклади формалізованих описів та векторне представлення класифікаційних ознак фасета Φ_C „Симетричність” відповідно до вимог НМ-технології

Наявність класифікаційних ознак ОВ та варіанти їх взаємного	Значення відповідних складових формалізованого опису	Векторний алфавіт	Формалізований опис
---	--	-------------------	---------------------

друга – перпендикулярна; x_9^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ осі обертання x та двох площин симетрії: площина zoy проходить через вісь паралельно до осі, а площина xoy або xoz – перпендикулярна осі; x_{10}^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ осі обертання y та двох площин симетрії: площина xoz проходить через вісь паралельно до осі, а площина yoz або xoy – перпендикулярна осі; x_{11}^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ тільки однієї площини симетрії; x_{12}^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ тільки однієї площини симетрії xoy або yoz ; x_{13}^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ тільки однієї площини симетрії xoz ; x_{14}^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ двох взаємно перпендикулярних площин; x_{15}^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ двох взаємно перпендикулярних площин xoy та yoz або xoy та xoz ; x_{16}^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ двох взаємно перпендикулярних площин xoz та yoz або xoz та xoy ; x_{17}^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ двох взаємно перпендикулярних площин yoz та xoy або yoz та xoz ; x_{18}^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ трьох взаємно перпендикулярних площин.

Класифікаційними ознаками фасета Φ_ϕ „Форма” є складність форми ОВ [10, 13, 14, 15], що впливає на вибір технології автоматичного орієнтування. Множина ОВ може вписуватись у форму циліндра або чотирикутника. Крім того, окремим випадком циліндричної форми є конус, в який може бути вписаний ОВ, а призматичної форми – піраміда. У зв'язку з цим можна виділити чотири типові форми ОВ: циліндричну, призматичну, конусну та пірамідальну, що можуть бути описані набором певних геометричних параметрів, які пропонується використовувати як основу формалізованого опису фасета. Такими параметрами можуть бути, наприклад, висота b , ширина h , довжина l , кут при основі α , який може бути визначений нахилом твірних ОВ, а також найбільший d_{max} та найменший d_{min} діаметри (рис. 1).

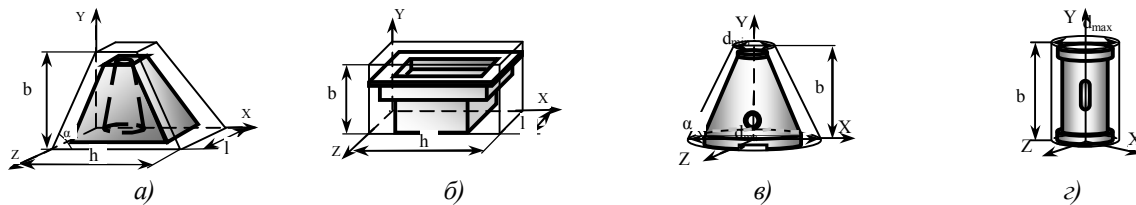


Рис. 1. Приклади типових форм ОВ, що можуть бути описані набором геометричних параметрів: а – пірамідальної; б – призматичної; в – конусної; г – циліндричної

Формалізовані описи класифікаційних ознак пропонується представляти набором вказаних геометричних параметрів наступним чином:

$$\Phi_\phi = b, h, l, \alpha, d_{min}, d_{max} \tag{5}$$

Очевидно, що при рівності нулю деяких параметрів, які за замовчуванням не вказуються, можуть бути отримані формалізовані описи ОВ різних форм. Причому при описуванні ОВ типу циліндр очевидним є рівність верхнього та нижнього діаметрів цієї фігури. У зв'язку з цим приймаємо, що $d_{min} = d_{max}$ і у формалізованому описі ОВ циліндричної форми використовуємо одне значення d_{max} .

В загальному випадку формалізований опис фасета Φ_ϕ може бути представлений упорядкованою множиною послідовно з'єднаних логічною функцією виключної диз'юнкції ∇ формалізованих описів всіх можливих класифікаційних ознак фасета:

$$\Phi_\phi \rightarrow \{(b; \alpha; d_{min}; d_{max}) \nabla (b; h; l) \nabla (b; d_{max}) \nabla (b; h; l; \alpha)\} \tag{6}$$

Вхідний вектор X^2 , що представляє фасет Φ_ϕ „Форма”, можна описати наступним чином:

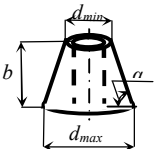
$$X^2 = \{x_1^2, x_2^2, x_3^2, x_4^2, x_5^2, x_6^2\}, \tag{7}$$

де x_1^2 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ висоти b ; x_2^2 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ ширини h ; x_3^2 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ довжини l ; x_4^2 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ кута при основі α ; x_5^2 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ максимального діаметра d_{max} ; x_6^2 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає наявності у ОВ мінімального діаметра d_{min} .

Алфавіт формалізованого опису класифікаційних ознак фасета Φ_ϕ „Форма”, їх векторне представлення та приклади векторних та формалізованих описів відповідних ознак наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Алфавіт, приклади формалізованих описів та векторне представлення класифікаційних ознак фасета Φ_ϕ „Форма” відповідно до вимог НМ-технології

Класифікаційні ознаки ОВ		Векторний алфавіт		Приклади типових форм	Формалізований опис	Векторний опис
		компоненти вхідного вектора	значення вхідного сигналу			
висота	b	x_1^2	1			
ширина	h	x_2^2	1			
довжина	l	x_3^2	1	циліндрична	$\Phi_\phi \rightarrow \{b; d_{max}\}$	$\{x_1^2, 0, 0, 0, 0, x_6^2\}$
кут при основі	α	x_4^2	1	конусна	$\Phi_\phi \rightarrow \{b; \alpha; d_{min}; d_{max}\}$	$\{x_1^2, 0, 0, x_4^2, x_5^2, x_6^2\}$
максимальний діаметр	d_{max}	x_5^2	1	призматична	$\Phi_\phi \rightarrow \{b; h; l\}$	$\{x_1^2, x_2^2, x_3^2, 0, 0, 0\}$
мінімальний діаметр	d_{min}	x_6^2	1	пірамідальна	$\Phi_\phi \rightarrow \{b; h; l; \alpha\}$	$\{x_1^2, x_2^2, x_3^2, x_4^2, 0, 0\}$
Загальна структура вхідного вектора X^2: $\{x_1^2, x_2^2, x_3^2, x_4^2, x_5^2, x_6^2\}$						
		<p>Приклад: ОВ конусної форми відповідно до вимог НМ-технології векторно описується наступним чином: $X^2 = \{x_1^2, 0, 0, x_4^2, x_5^2, x_6^2\}$</p>				

Класифікаційні ознаки фасета $\Phi_{КО}$ „Конструктивні особливості” несуть інформацію про габаритні розміри, форму та особливості конструктивних елементів ОВ [1, 13, 14, 15]. ОВ характеризуються певним набором габаритних розмірів – висотою b , шириною h , довжиною l . Класифікаційними ознаками фасета $\Phi_{КО}$ „Конструктивні особливості” є співвідношення габаритних розмірів ОВ та особливості їх конструктивних елементів. При цьому, визначення співвідношень між геометричними параметрами, наприклад, висотою b , шириною h , довжиною l , що характеризують ОВ, дає можливість формування формалізованого опису класифікаційних ознак цього фасета. Так, формалізований опис класифікаційних ознак пропонується представляти набором певних параметрів, що відображають співвідношення між розмірами геометричних параметрів, характеризують величину найбільшого за розміром геометричного параметра та симетрію торців ОВ:

$$\Phi_{КО} = r, m, \xi, z, \tag{8}$$

де r – параметр, що характеризує співвідношення між розмірами геометричних параметрів ОВ, наприклад, висотою b , шириною h , довжиною l ; $r \in \{r_1, r_2, r_3\}$, де r_1, r_2, r_3 – для випадків суттєвої різниці розмірів, майже однакових деяких розмірів та майже однакових всіх розмірів геометричних параметрів ОВ відповідно; m – параметр, що характеризує величину найбільшого розміру геометричного параметра ОВ; $m \in \{m_1, m_2, m_3\}$, де m_1, m_2, m_3 – для випадків найбільшого розміру геометричного параметра ОВ до 100 мм (ОВ вважають мініаторним); від 100 до 250 мм (ОВ вважають середнього розміру); від 250 мм і більше (ОВ вважають великим) відповідно; ξ – параметр, що характеризує симетрію торців ОВ, тобто наявність або відсутність конструктивних елементів на обох або одному торці ОВ; $\xi \in \{\xi, \bar{\xi}\}$, де $\xi, \bar{\xi}$ – для випадків симетричних торців, тобто розташуванні однакових конструктивних елементів на обох торцях; асиметричних торців, тобто розташуванні різних конструктивних елементів на обох торцях або на одному торці відповідно; z – параметр, що характеризує наявність зовнішніх та внутрішніх конструктивних елементів ОВ; $z \in \{z_3, z_6\}$, де z_3, z_6 – наявність зовнішніх, внутрішніх конструктивних елементів відповідно.

В загальному випадку формалізований опис фасета $\Phi_{КО}$ може бути представлений упорядкованою множиною послідовно з'єднаних операторами зв'язку формалізованих описів класифікаційних ознак:

$$\begin{aligned} \Phi_{КО} &\rightarrow \{r, m, \xi, z; r \in \{r_1, r_2, r_3\}; m \in \{m_1, m_2, m_3\}; \xi \in \{\xi, \bar{\xi}\}; z \in \{z_3, z_6\}\}, \\ r &\rightarrow \{r_1 \nabla r_2 \nabla r_3\}; m \rightarrow \{m_1 \nabla m_2 \nabla m_3\}; \xi \rightarrow \{\xi \nabla \bar{\xi}\}, \\ z &\rightarrow \{z_6 \nabla z_3 \nabla (z_6 \wedge z_3)\}, \end{aligned} \tag{9}$$

де \wedge, ∇ – тут і далі математичне позначення логічних функцій кон'юнкції та виключної диз'юнкції відповідно.

З виразу (9) отримуємо:

$$\Phi_{КО} \rightarrow \{(r_1, m_1, \xi, z_3) \nabla (r_1, m_2, \bar{\xi}, z_6) \nabla \dots \nabla (r_3, m_3, \xi, z_3, z_6)\}. \tag{10}$$

Таким чином, вирази (9) та (10) є фактично формалізованим описом фасета $\Phi_{КО}$ „Конструктивні особливості”.

Фасет $\Phi_{КО}$ векторно представляється наступним чином:

$$X^3 = \{x_1^3, x_2^3, x_3^3, x_4^3, x_5^3, x_6^3, x_7^3\}, \tag{11}$$

де x_1^3 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає варіанту суттєвої різниці розмірів геометричних параметрів ОВ; x_2^3 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає варіанту майже однакових розмірів деяких геометричних параметрів ОВ або варіанту майже однакових всіх розмірів геометричних параметрів ОВ; x_3^3 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає варіанту найбільшого розміру геометричного параметра ОВ до 100 мм; x_4^3 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає варіанту найбільшого розміру геометричного параметра ОВ від 100 до 250 мм або від 250 мм і більше; x_5^3 – вхідний

сигнал ШНМ, що відповідає варіанту симетричних або асиметричних торців ОВ; x_6^3 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає варіанту наявності зовнішніх конструктивних елементів ОВ; x_7^3 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає варіанту наявності внутрішніх конструктивних елементів ОВ. Алфавіт формалізованого опису класифікаційних ознак фасета Φ_{KO} „Конструктивні особливості”, їх векторне представлення та приклади векторних та формалізованих описів відповідних ознак наведені в табл. 3.

На визначення функціонального взаємозв'язку ПО та ОВ можуть впливати ознаки додаткової фасетної групи. Такими ознаками є фізико-механічні ознаки ОВ, тобто ознаки матеріалу, його електродинамічні, пневмогідралічні, гідралічні, пневматичні, а також відбиваючі ознаки [14].

З врахуванням вказаного класифікаційними ознаками фасета Φ_{DO} „Додаткові ознаки” виступають різні конструкційні матеріали ОВ, їх феромагнітні властивості, відбиваючі ознаки та електродинамічні властивості. Конструкційні матеріали характеризуються наявністю феромагнітних, електродинамічних та відбиваючих ознак. Ці ознаки проявляються при взаємодії магнітостатичного, електростатичного та змінного магнітного полів на ОВ, виготовлених з феромагнітних струмопровідних, надпровідних, немагнітних струмопровідних та діелектричних матеріалів [14]. Відбиваючі ознаки проявляються при опроміненні або освітленні ОВ. З використанням таких ознак працюють фотоелектричні, акустичні, інфрачервоні, голографічні та інші так звані екстремальні орієнтуючі пристрої [14]. Проявлення цих ознак викликається фізико-механічними властивостями матеріалу та конфігурацією ОВ.

Також наявними можуть бути пневматичні, гідралічні та пневмогідралічні ознаки, які проявляються при взаємодії ОВ з повітряним, рідинним та комбінованим середовищем відповідно [15]. Вказані ознаки доцільно використовувати для вибору ПО з метою автоматичного орієнтування мініатюрних ОВ та ОВ середнього розміру. Формалізований опис класифікаційних ознак Φ_{DO} „Додаткові ознаки” пропонується представляти набором певних параметрів, що відображають фізико-механічні властивості матеріалу та його назву. Наприклад, параметр, що вказує на назву конструктивного матеріалу, можна описати наступним чином:

$$M_t \rightarrow \{M_{Cm} \nabla M_A \nabla M_C \nabla M_B \nabla M_L \nabla M_D \nabla M_P \nabla M_{Ck}\}, \tag{12}$$

де M_t – параметр, що вказує на конструктивний матеріал ОВ; $t \in \{Cm, A, Ч, Б, Л, Д, П, Ck\}$, де $Cm, A, Ч, Б, Л, Д, П, Ck$ – умовне позначення назв конструкційних матеріалів: сталь, алюміній, чавун, бронза, латунь, дерево, пластмаса, скло відповідно.

Таблиця 3

Алфавіт, приклади формалізованих описів та векторне представлення класифікаційних ознак фасета Φ_{KO} „Конструктивні особливості” відповідно до вимог НМ-технології

Класифікаційні ознаки ОВ	Векторний алфавіт		Приклади ОВ	Формалізований опис	Векторний опис	
	компоненти вхідного вектора	значення вхідного сигналу				
Суттєва різниця розмірів геометричних параметрів ОВ	r_1	x_1^3	ОВ з симетричними торцями, зовнішніми конструктивними елементами на твірній, суттєвою різницею розмірів, найбільший геометричний розмір 200 мм	$\Phi_{KO} \rightarrow \{r_1, m_2, \bar{\xi}, z_3\}$	$\{x_1^3, 0, 0, x_4^3, x_5^3, x_6^3, 0\}$	
Майже однакові розміри деяких геометричних параметрів ОВ	r_2	x_2^3				1
Майже однакові всі розміри геометричних параметрів ОВ	r_3					0
Найбільший розмір геометричного параметра ОВ до 100 мм	m_1	x_3^3	ОВ з асиметричними торцями, внутрішніми та зовнішніми конструктивними елементами, суттєвою різницею розмірів, найбільший розмір 250 мм	$\Phi_{KO} \rightarrow \{r_1, m_2, \bar{\xi}, z_3, z_6\}$	$\{x_1^3, 0, 0, 0, x_6^3, x_7^3\}$	
Найбільший розмір геометричного параметра ОВ від 100 до 250 мм	m_2	x_4^3	1			
Найбільший розмір геометричного параметра ОВ від 250 мм і більше	m_3		0			
Симетричні торці ОВ	$\bar{\xi}$	x_5^3	ОВ з асиметричними торцями, внутрішніми та зовнішніми конструктивними елементами, майже однаковими	$\Phi_{KO} \rightarrow \{r_2, m_2, \bar{\xi}, z_3, z_6\}$	$\{0, x_2^3, 0, x_4^3, 0, x_6^3, x_7^3\}$	
Асиметричні торці ОВ	ξ					1
Наявність зовнішніх конструктивних елементів	z_6	x_6^3	0			

Наявність внутрішніх конструктивних елементів	z_e	x_7^3	1	вого величиною двох розмірів, найбільший розмір 120 мм		
Загальна структура вхідного вектора X^3: $\{x_1^3, x_2^3, x_3^3, x_4^3, x_5^3, x_6^3, x_7^3\}$						

Параметр, що характеризує феромагнітні властивості матеріалів, пропонується описувати виразом:

$$F_e \rightarrow \{F_f \nabla F_p \nabla F_d\}, \tag{13}$$

де F_e – параметр, що характеризує феромагнітні властивості матеріалів; $e \in \{f, p, d\}$, де f, p, d – скорочене умовне позначення матеріалу феромагнетика, парамагнетика і діаманетика відповідно.

Параметр, що характеризує електродинамічні властивості матеріалу:

$$E_l \rightarrow \{E_p \nabla E_{\bar{p}} \nabla E_{\bar{\bar{p}}}\}, \tag{14}$$

де E_l – параметр, що характеризує електродинамічні властивості матеріалу; $l \in \{p, \bar{p}, \bar{\bar{p}}\}$, де $p, \bar{p}, \bar{\bar{p}}$ – умовне позначення провідникових, діелектричних та напівпровідникових властивостей матеріалу відповідно.

Параметр, що характеризує відбиваючі властивості матеріалу:

$$W_s \rightarrow \{W_z \nabla W_u \nabla W_i \nabla (W_z \wedge W_u) \nabla (W_u \wedge W_i) \nabla (W_z \wedge W_i) \nabla (W_z \wedge W_u \wedge W_i)\}, \tag{15}$$

де W_s – параметр, що характеризує відбиваючі властивості матеріалу; $s \in \{z, u, i\}$, де z, u, i – умовне позначення властивостей матеріалу відбивати звукові та ультрафіолетові хвилі, інфрачервоне випромінювання відповідно.

Параметр, що характеризує пневматичні властивості матеріалу:

$$P_{\Pi} \rightarrow \{P_{\Pi} \nabla P_{\bar{\Pi}}\}, \tag{16}$$

де P_{Π} – параметр, що характеризує пневматичні властивості матеріалу; $\Pi \in \{\Pi, \bar{\Pi}\}$, де $\Pi, \bar{\Pi}$ – умовне позначення виражених та невиражених пневматичних властивостей матеріалу відповідно.

Параметр, що характеризує гідравлічні властивості матеріалу:

$$G_g \rightarrow \{G_g \nabla G_{\bar{g}}\}, \tag{17}$$

де G_g – параметр, що характеризує гідравлічні властивості матеріалу; $g \in \{g, \bar{g}\}$, де g, \bar{g} – умовне позначення виражених та невиражених гідравлічних властивостей матеріалу відповідно.

Параметр, що характеризує пневмогідравлічні властивості матеріалу:

$$P_g \rightarrow \{P_g \nabla P_{\bar{g}}\}, \tag{18}$$

де P_g – параметр, що характеризує пневмогідравлічні властивості матеріалу; $g \in \{g, \bar{g}\}$, де g, \bar{g} – умовне позначення виражених та невиражених пневмогідравлічних властивостей матеріалу відповідно.

Відповідно формалізований опис фасета можна представляти упорядкованою множиною послідовно з'єднаних операторами зв'язку описаних вище параметрів:

$$\Phi_{ДО} \rightarrow \{M_t, F_e, E_l, W_s, P_{\Pi}, G_g, P_g\}. \tag{19}$$

Таким чином, можемо отримати формалізований опис різних конструктивних матеріалів, наприклад, для ОВ, що виготовлений із сталі, вираз (19) матиме вигляд

$$\Phi_{ДО} \rightarrow \{M_{Cm}, F_f, E_p, (W_z \wedge W_u \wedge W_i), P_{\Pi}, G_g, P_g\}. \tag{20}$$

Як видно із виразу (20), ОВ, виготовлений із сталі, є феромагнетиком, провідником, може відбивати звукові, ультрафіолетові та інфрачервоні випромінювання. При взаємодії ОВ з повітряним, рідинним та комбінованим середовищем проявляються пневматичні, гідравлічні та пневмогідравлічні ознаки.

Фасет $\Phi_{ДО}$ векторно представляється п'ятьма векторами. Вектори X^4, X^5, X^6, X^7 описують назву конструкційного матеріалу, феромагнітні властивості, електродинамічні властивості, відбиваючі властивості матеріалу ОВ відповідно. Вектор X^8 описує в сукупності пневматичні, гідравлічні та пневмогідравлічні властивості матеріалу ОВ. Алфавіт формалізованого опису класифікаційних ознак фасета $\Phi_{ДО}$ „Додаткові ознаки”, їх векторне представлення та приклади векторних та формалізованих описів відповідних ознак наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Алфавіт, приклади формалізованих описів та векторне представлення класифікаційних ознак фасета $\Phi_{ДО}$ „Додаткові ознаки” відповідно до вимог НМ-технології

Класифікаційні ознаки ОВ			Векторний алфавіт		Формалізований опис
			компоненти вхідного вектора	значення вхідного сигналу	
1			2		3
Матеріал	сталі,	Cm	x_1^4	1	$M_t \rightarrow \{M_{Cm} \nabla M_A \nabla M_{\bar{A}} \nabla M_B \nabla M_{\bar{B}} \nabla M_{\bar{\bar{B}}} \nabla M_{\bar{\bar{\bar{B}}}} \nabla M_{\bar{\bar{\bar{\bar{B}}}}}\}$
	алюміній,	A	x_2^4	1	
	чавун,	\bar{C}	x_3^4	1	

	бронза,	<i>B</i>	x_5^4	1	
	латунь,	<i>L</i>	x_6^4	1	
	дерево,	<i>D</i>	x_7^4	1	
	пластмаса,	<i>P</i>	x_8^4	1	
	скло	<i>Sk</i>	x_9^4	1	
Феромагнітні властивості	феромагнетик	<i>F_f</i>	x_1^5	1	$F_e \rightarrow \{F_f \nabla F_p \nabla F_d\}$
	парамагнетик	<i>F_p</i>	x_2^5	1	
	діамагнетик	<i>F_d</i>	x_3^5	1	
Електродинамічні властивості матеріалів	провідник	<i>E_p</i>	x_1^6	1	$E_l \rightarrow \{E_p \nabla E_{-p} \nabla E_{=p}\}$
	діелектрик	<i>E_{-p}</i>	x_2^6	1	
	напівпровідник	<i>E_{=p}</i>	x_3^6	1	
Відбиваючі властивості	звукові хвилі	<i>W_z</i>	x_1^7	1	$W_s \rightarrow \{W_z \nabla W_u \nabla W_i \nabla (W_z \wedge W_u) \nabla (W_u \wedge W_i) \nabla (W_z \wedge W_i) \nabla (W_z \wedge W_u \wedge W_i)\}$
	ультрафіолетові хвилі	<i>W_u</i>	x_2^7	1	
	інфрачервоне випромінювання	<i>W_i</i>	x_3^7	1	

Закінчення таблиці 4

1		2		3	
Пневматичні властивості	виражені	P_{Π}	x_1^8	1	$P_{\Pi} \rightarrow \{P_{\Pi} \nabla P_{\Pi}\}$
	невиражені	$P_{\bar{\Pi}}$		0	
Гідрравлічні властивості	виражені	G_g	x_2^8	1	$G_g \rightarrow \{G_g \nabla G_g\}$
	невиражені	G_{-g}		0	
Пнемо-гідрравлічні властивості	виражені	P_g	x_3^8	1	$P_g \rightarrow \{P_g \nabla P_g\}$
	невиражені	P_{-g}		0	
Структури вхідних векторів					
вхідний вектор X^4		$\{x_1^4, x_2^4, x_3^4, x_4^4, x_5^4, x_6^4, x_7^4, x_8^4, x_9^4\}$			
вхідний вектор X^5		$\{x_1^5, x_2^5, x_3^5\}$			
вхідний вектор X^6		$\{x_1^6, x_2^6, x_3^6\}$			
вхідний вектор X^7		$\{x_1^7, x_2^7, x_3^7\}$			
вхідний вектор X^8		$\{x_1^8, x_2^8, x_3^8\}$			
Приклад: фізико-механічні властивості ОВ, виготовленого із сталі, відповідно до вимог НМ-технології векторно описуються наступним чином: $\{x_1^4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$; $\{x_1^5, 0, 0\}$; $\{x_1^6, 0, 0\}$; $\{x_1^7, x_2^7, x_3^7\}$; $\{x_1^8, x_2^8, x_3^8\}$					

Формування вихідного вектора Y виконується таким чином, щоб його компоненти містили повну відповідь щодо поставленої задачі автоматизованої класифікації ОВ, яка полягає у автоматичному визначенні складу орієнтуючих рухів (СОР) ОВ, необхідних для автоматичного орієнтування ОВ, та в перспективі автоматизованого вибору ПО. На підставі фасетів „Симетричність”, „Форма”, „Конструктивні особливості” та попередньо проведеного аналізу ОВ на виході ШНМ формується вектор Y, що містить одинадцять компонент, які можуть відповідати СОР при автоматичному орієнтуванні ОВ [6, 7] з різними конструктивними особливостями (табл. 5).

Таблиця 5

Характеристика вихідного вектора $Y = \{y^k | k = \overline{1,11}\}$

Симетричність ОВ			Форма	Конструктивні особливості ОВ		СОР ОВ		
ось обертання	площини симетрії/ кількість площин / назва площин			співвідношення між розмірами геометричних параметрів	симетрія торців	розташування конструктивних елементів	сутність	позначення
1	2	3	4	5	6	7	8	9
X	0	Відсутня		Циліндрична конічна	Відсутня	Зовнішнє та внутрішнє	Суміщення осі обертання з віссю X абсолютної системи координат. Поворот відносно двох осей X та Y або однієї з вказаних осей абсолютної системи координат	y^1
	1	Перпендикулярна площина	уoz	Циліндрична	Наявна	Зовнішнє та внутрішнє	Суміщення осі обертання з віссю X абсолютної системи координат	y^2
	1	Паралельна площина:	хоу, хоз	Циліндрична	Відсутня	Зовнішнє та внутрішнє	Суміщення осі обертання з віссю X абсолютної системи координат. Поворот відносно двох осей X та Y, або однієї з вказаних осей абсолютної системи координат	y^3
	2	Перпендикулярна площина уoz	Паралельна площина хоу, хоз	Циліндрична	Наявна	Зовнішнє та внутрішнє	Суміщення осі обертання з віссю X абсолютної системи координат. Поворот відносно двох осей Y та Z, або однієї з вказаних осей абсолютної системи координат	y^4
Y	0	Відсутня		Циліндрична конічна	Відсутня	Зовнішнє та внутрішнє	Суміщення осі обертання з віссю Y абсолютної системи координат. Поворот відносно осей X та Y абсолютної системи координат, або однієї з вказаних осей.	y^5
	1	Перпендикулярна площина	хоz	Циліндрична	Наявна	Зовнішнє та внутрішнє	Суміщення осі обертання з віссю Y абсолютної системи координат	y^6

Закінчення таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1	Пара-лельна площина уoz, хоу	Циліндрична		Відсутня	Зовнішнє та внутрішнє	Суміщення осі обертання з віссю Y абсолютної системи координат. Поворот відносно двох осей X та Y або однієї з вказаних осей.	y^7
	2	Перпендикулярна площина хоz	Пара-лельна площина уoz, хоу	Циліндрична		Наявна	Зовнішнє та внутрішнє	Суміщення осі обертання з віссю Y абсолютної системи координат. Поворот відносно двох осей X та Z, або однієї з вказаних осей абсолютної системи координат
Відсутня	1	Площина: хоу, уoz, хоz	Призматична пірамідальна	Два розміри майже однакові; Суттєва різниця між всіма розмірами	-	Зовнішнє та внутрішнє	Поворот в площині XOZ відносно осі X або Z, а також площині XOY відносно осі Y, або площині YOZ відносно осі Y чи Z абсолютної системи координат	y^9
	2	Взаємоперпендикулярні площини:	Призматична пірамідальна	Два розміри майже однакові	-	Зовнішнє та внутрішнє	Поворот в площині XOZ відносно двох осей X та Z, або однієї з вказаних осей абсолютної системи координат	y^{10}
	3	Взаємоперпендикулярні площини:	хоz, хоу та уoz	Призматична	Два розміри майже однакові. Суттєва різниця між всіма розмірами. Всі розміри майже однакові	-	Зовнішнє та внутрішнє	Поворот в площині XOZ відносно двох осей X та Z, або однієї з вказаних осей абсолютної системи координат
Загальна структура вихідного вектора Y: $\{y^1, y^2, y^3, y^4, y^5, y^6, y^7, y^8, y^9, y^{10}, y^{11}\}$								

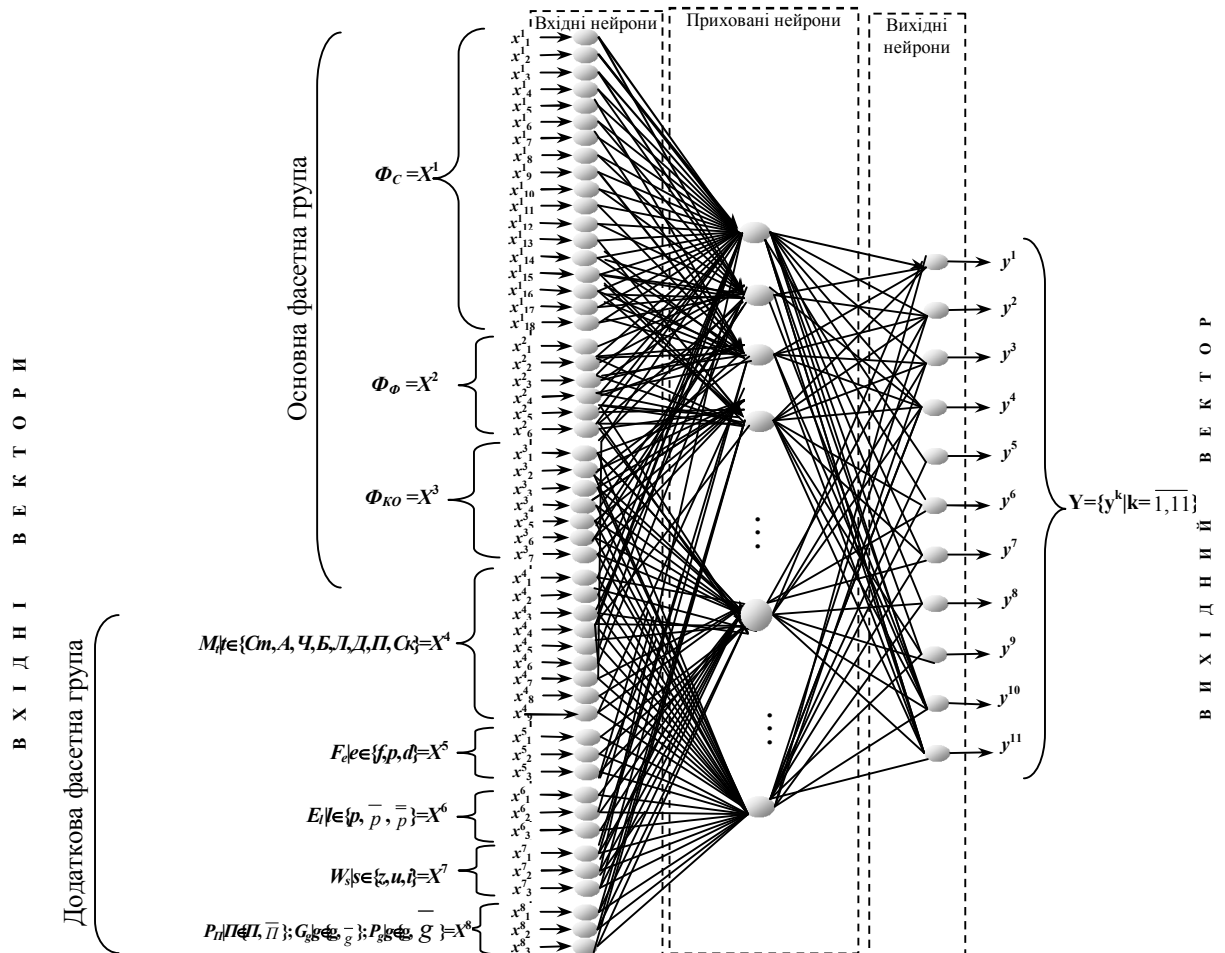


Рис. 2. Схематична модель ШНМ для класифікації ОБ

Визначені вхідні та вихідний вектори дають можливість синтезу схематичної моделі ШНМ для автоматизованої

класифікації ОВ (рис. 2).

Очевидно, що функціональна взаємодія ШНМ для класифікації ОВ та ПО шляхом інтерпретації вихідних сигналів ШНМ для класифікації ПО як деяких вхідних сигналів для класифікації ПО дозволить визначити відповідність функціональних можливостей ПО вимогам процесу орієнтування, що частково задаються конструктивними особливостями та фізико-механічними властивостями ОВ, а також автоматизувати їх вибір.

Формалізований опис класифікаційних ознак ПО, визначення структури вхідних та вихідних векторів для синтезу ШНМ для автоматизованої класифікації ПО, а також формування загальної моделі ШНМ взаємодії цих ШНМ для автоматизованого вибору ПО в цілому є напрямками подальших досліджень. Крім того, робота ШНМ для класифікації ОВ передбачає розв'язання додаткових задач, що полягають у заданні діапазону зміни входів, виходів, ваг та граничних рівнів ШНМ; присвоєнні початкових значень вагових коефіцієнтів і граничних рівнів та інших додаткових параметрів; формування тестового прикладу та навчання ШНМ, що вимагає додаткових досліджень у цьому напрямку.

Висновки. Таким чином, використання ШНМ як загальної науково-методичної основи для створення ефективного інформаційного забезпечення СООВ дозволяє формувати узгоджені автоматизовані класифікації її складових з можливістю подальшої автоматизованої обробки представленої інформації та в перспективі автоматизувати вибір ПО при проектуванні ГВС в цілому.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Автоматизированные системы технологической подготовки робототехнического производства / Л.С. Ямпольский, О.М. Калинин, М.М. Ткач. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 271 с.
2. Аналитический пакет Deductor Professional: Руководство пользователя. – BaseGroupLabs, 2002. – 184 с.
3. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління. Підручник / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, М.М. Ткач, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – 680 с.
4. Заенцев И.В. Нейронные сети: основные модели. – Воронеж, 1999. – 76 с.
5. Иллюстрированный определитель деталей общемашиностроительного применения. Руководящий технический материал. Классы 40 и 50 Общесоюзного классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции / Разработан под общим организационным и методическим руководством Е. А. Панфилова, Ю. И. Блохина, Л. М. Кулика, Б. А. Погодина, Г. М. Шнайдемана, 1986. – 180 с.
6. Кирилович В.А., Черепанська І.Ю. Формалізований опис рухів об'єктів роботизації на основі теорії кватерніонів //Прогресивные направления развития машино-приборостроительных отраслей и транспорта: Материалы междунар. научн.–техн. конф. студ., асп. и молодых ученых, г. Севастополь, 16 – 20 мая 2005 г. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2005. – С. 163–164.
7. Кирилович В.А., Черепанська І.Ю. Формалізований опис функції орієнтування об'єктів роботизованих механоскладальних виробництв // Вісник ЖДТУ №1 (32). – Житомир, 2005. – С. 145–154.
8. Кирилович В.А., Черепанська І.Ю., Залевська М.В., Поляченко В.В. Використання нейросіток для задач класифікації складових системи орієнтації об'єктів виробництва ГВС: Тези XXXI науково-практичної міжвузівської конференції, присвяченої Дню університету. – Житомир, 2006. – С. 33.
9. Медвидь М.В. Автоматические ориентирующие загрузочные устройства и механизмы. – М.: МАШГИЗ, 1963. – 297 с.
10. Рабинович А.Н. Механизация и автоматизация сборочных процессов в машиностроении и приборостроении. – М.: Машиностроение, 1964. – 283 с.
11. Терехов С.А. Лекции по теории и приложениям искусственных нейронных сетей. – Лаборатория искусственных нейронных сетей НГО-2, ВНИИТФ. – Снежинск, 1994. – 50 с.
12. Черепанська І.Ю. До питання формалізації систем об'єктів механоскладальних роботизованих виробництв //Збірник наукових праць Житомирського військового орденів Жовтневої Революції і Червоного Прапора інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова. – Житомир, 2004. – № 8. – С. 116–123.
13. Шабайкович В.А. Ориентирующие устройства с программным управлением: Технологические основы проектирования. – К.: Техніка, 1981. – 183 с.
14. Шабайкович В.А. Программное ориентирование деталей. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1983. – 168 с.
15. Шерешевский Н.И. Анализ и синтез многоярусной сборки. – М.: Машиностроение, 1971. – 248 с.

КИРИЛОВИЧ Валерій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– автоматизація технологічної підготовки роботизованих механоскладальних виробництв;

– автоматизований синтез роботизованих механоскладальних технологій машино- та приладобудування.

Тел.: роб. 24-14-17, дом. 34-01-65

E-mail: kiril_v@ztu.edu.ua

ЧЕРЕПАНСЬКА Ірина Юрївна – аспірант, асистент кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання;

– автоматизовані виробництва.

Тел.: дом. 26-36-88

E-mail: cheri2008@yandex.ru

Подано 19.10.2006