

УДК 621.9.025.6:004.89

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-45-52

Ліна Богданова, Валерій Аносов

## ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НІШ КОНСТРУКЦІЙ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕРЕЖІ КОХОНЕНА

*Грунтуючись на властивості карт Кохонена трансформувати багатовимірний простір у простір із нижчою розмірністю, у роботі вперше запропоновано загальний підхід до вирішення задачі формування технологічних ніш для визначення зон найбільш ефективного використання відповідних типів конструкцій фрез. Це надає можливість релевантного вибору існуючих конструкцій, типорозмірів корпусів і пластин, а також обґрунтувати вимоги при створенні нових конструкцій. Отриману навчену карту Кохонена можна використовувати для автоматизації пошуку технологічних ніш різального інструменту.*

**Ключові слова:** кластеризація; карти Кохонена; різальний інструмент; механічна обробка; технологічна ніша.  
Рис.: 3. Табл.: 2. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Сучасний стан розвитку автоматизованого виробництва, використання верстатів із ЧПУ ставлять нові вимоги до різального інструменту, процесу його проєктування, забезпечення ефективності його використання. Велика кількість різних наявних конструкцій інструмента дозволяє раціонально виконувати механічну обробку залежно від конкретних технологічних умов. Релевантний вибір конструкцій інструменту для кожної конкретної технологічної ситуації безпосередньо впливає на ефективність процесу механічної обробки.

**Постановка проблеми.** При вирішенні задач вибору вже існуючих і проєктування нових різальних інструментів необхідною є обробка великих об'ємів багатовимірної інформації і забезпечення підтримки ухвалення рішень на кожному етапі проєктування і експлуатації інструменту. Для обґрунтованого вибору серед існуючих конструкцій або проєктування спеціального інструменту потрібно враховувати вплив технологічних параметрів, які визначають: розміри поверхні що оброблюється, вимоги до параметрів якості й точності обробленої поверхні, фізико-механічні властивості матеріалу заготовки, геометричні параметри різальної частини інструменту, властивості інструментального матеріалу, а також технологічні можливості обладнання, на якому буде виконуватись обробка.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує багато спеціальних методів для пошуку нових рішень або вибору вже існуючих [1; 2]. Процес генерування ідей, що стосуються створення моделей конструктивних рішень [3], відбувається на трьох рівнях конструкторської розробки [4]:

- структура системи інструменту;
- структура інструменту, що входить у систему;
- тип конструкції кожного з модулів, які складають інструмент.

У представленій роботі розглядається вирішення завдання вибору конструкцій торцевої фрези для кожної конкретної технологічної ситуації. Для проєктування інструменту необхідні дані про заготовку, деталь, верстат. Інформативним також є розподіл кількості фрез у номенклатурному ряду діаметрів  $D_f$ .

Широта номенклатури видів фрез з різною геометрією різальної частини залежить від галузі промисловості й конфігурації типових деталей, їхнього матеріалу, стану поверхонь заготовки, вимог до точності і якості оброблюваної поверхні [4].

На кожному рівні конструювання інструменту значимими для аналізу є різні групи чинників. Так, для проєктування типорозмірного ряду інструменту, автори [4] пропонують розглядати сімейства розподілів глибин різання, подач тощо.

Вивчення комплексу технологічних завдань підприємств-споживачів, функцій інструменту, визначає потребу в кількості інструменту конкретних типорозмірів. Вказаний комплекс завдань – це  $n$ -мірний технологічний простір, що характеризується набором функціональних показників. Декілька сегментів цього простору або один із них, оптимальні для інструментів, що проєктуються і планованих до випуску підприємством-виробником, складають технологічну нішу (ТН).

Для пошуку технологічних ніш автор [5] пропонує використати розподіли значущих параметрів. По розподілах зручно розраховувати місткість технологічної ніші в будь-якому діапазоні параметрів. Аналіз даних може проводитися різними засобами. Відомі багатовимірні класичні методи обробки даних: аналіз головних компонент, кластерний, факторний, дискримінантний, регресійний аналіз [6].

Окремо можна виділити використання методу кластеризації даних на основі карт ознак, що самоорганізуються (self organizing map - SOM). Вони відомі як карти Кохонена [7; 8]. Цей засіб являє собою не тільки ефективний алгоритм кластеризації, а й дозволяє візуально представляти її результати у зрозумілому вигляді. Алгоритм функціонування самонавчальних карт дозволяє провести кластеризацію багатовимірних векторів. Такими векторами, власне, і є різні види різального інструменту. Прикладом таких алгоритмів може служити алгоритм k-найближчих середніх [9].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Адаптація та використання методів кластеризації даних при проектуванні й виборі інструменту дозволить точніше врахувати статистичні дані з експлуатації інструменту та зменшити загальні витрати часу.

**Метою статті** є автоматизація визначення зон найбільш ефективного використання конкретної конструкції інструменту, тобто виділення технологічних ніш для фрез із використанням методів кластеризації даних.

**Виклад основного матеріалу.** Формально задача кластеризації описується наступним чином [10]. Дана множина об'єктів  $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ , кожен з яких характеризується вектором атрибутів (параметрів):  $x_j = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ . Потрібно побудувати множину кластерів  $C$  і відображення  $F$  множини  $I$  на множину  $C$ .

Завдання кластеризації полягає в побудові множини  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_g\}$ ,  $c_g$  – кластер, що містить «схожі» об'єкти з множини  $I$ .

Відповідно до мети формулюємо задачі дослідження:

- опис бізнес-процесу [11] «Виділення технологічних ніш експлуатації інструменту», обробка зібраних статистичних даних, що впливають на вибір типорозміру конструкції фрези;

- кластеризація за заданими вхідними даними;

- визначення кластерів (технологічних ніш) та їх аналіз;

- призначення для кожної технологічної ніші потрібної конструкції фрези.

Бізнес-процес «Виділення технологічних ніш експлуатації інструменту» доцільно представити у вигляді SADT-діаграми (рис. 1).

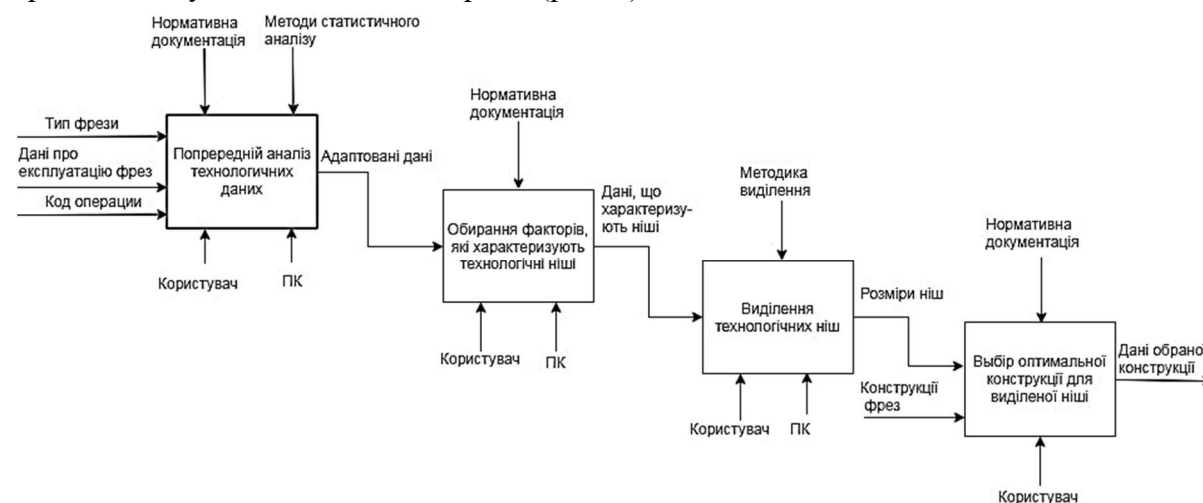


Рис. 1. SADT-діаграма бізнес-процесу «Виділення технологічних ніш експлуатації інструменту»

Вказаний бізнес-процес складається з чотирьох етапів.

1) Попередній аналіз технологічних даних, де користувач аналізує дані, зібрані в умовах виробництва.

2) Вибір факторів, що характеризують технологічну нішу. Для різних етапів розробки конструкції інструменту ніші характеризуються різними параметрами. Їх пошук здійснює фахівець.

3) Виділення технологічної ніші. Для аналізу вхідних даних будуються розподіли щільності по вагомим факторам [4; 5]. Формується вхідний вектор для мережі Кохонена, яка виконує процес кластеризації, тобто пошук технологічних ніш.

4) Прийняття рішення про визначення конкретного типу конструкції інструменту для вибраної технологічної ніші за участю фахівця-конструктора.

Як інструментальний засіб аналізу даних умов експлуатації фрез обрано аналітичну платформу Deductor Studio 5.0 версії Academic. Вона має можливості побудови самоорганізаційних карт Кохонена за алгоритмом: формування початкових векторів, навчання нейронної мережі, обчислення помилки віднесення до класу, візуалізація результатів кластеризації [12].

Параметри карти Кохонена, що самоорганізується: підібрані з урахуванням високої якості візуалізації та інтерпретації результатів. Розмірність карти – 20×20 шестикутних осередків, вузли якої представлені штучними нейронами. Якість навчання нейромережевої моделі – 100% розпізнаних прикладів на навчальній множині.

У табл. 1 наведено приклад результатів збору статистичних даних експлуатації торцевих збірних фрез. Аналогічний файл даних у форматі Excel використовувався для імпорту в аналітичну програму Deductor Studio.

Таблиця 1. Дані експлуатації фрез (фрагмент)

№	Марка сталі	Твердість, НВ	Ширина фрезерування В, мм	Загальний припуск Н, мм	Поверхня	Глибина різання t, мм	Подача S, мм/хв	Швидкість різання V, м/хв
1	45	195	300	5,3	Корка	5	400	188,5
2	45	195	300	5,3	Чиста	0,3	200	235,6
3	45	210	145	4	Чиста	3	300	251,3
4	45	200	100	10	Корка	4	500	247,4
5	У8	200	120	30	Корка	4	500	296,9
6	20	180	250	8,5	Брудна	8	150	150,8
7	20	185	250	8,5	Корка	0,5	420	477,5
8	30А	190	220	120	Корка	10	160	55,0
9	30А	190	215	80	Корка	10	240	78,5
10	20	200	150	11	Чиста	5	150	196,3
11	15Л	165	200	30	Корка	10	320	98,2
12	15Л	170	230	10	Чиста	10	400	98,2
13	15Л	165	230	1	Чиста	1	250	196,3
14	20	195	160	10	Чиста	5	150	117,8
15	15Л	175	220	20	Корка	10	320	94,2
16	15Л	180	225	15	Корка	10	320	94,2
17	15Л	175	220	20	Корка	10	320	94,2
18	30	195	160	50	Корка	8	180	150,8

Нааявні вихідні дані були розбиті на два набори. Перший із них використовувався для навчання (навчальний), а другий – для тестування (тестовий).

Для ініціалізації карти (завдання початкових значень вузлів мережі) використовувалися значення з власних векторів, рівномірно розподілені в діапазоні значень вхідних даних. Навчання проводилося кілька разів із різними значеннями параметрів навчання. Варіювалися радіуси сусідства для обох етапів навчання і для кожного набору значень параметрів навчання використовувалося кілька варіантів випадкової початкової ініціалізації. Для навченої карти проводилася візуалізація, тобто процедура постановки у відповідність всіх векторів, що подаються на вхід відповідним їм вузлам нейронної мережі.

Нейронні мережі працюють лише з числовими даними, тому важливим етапом при підготовці даних є перетворення і кодування даних.

Загальна кількість даних аналізу – 150. Таким чином, був підготовлений набір даних придатних для подальшого аналізу із застосуванням карт Кохонена, що самоорганізуються.

У результаті роботи алгоритму отримана карта кластерів. Для того щоб відобразити відносну величину того чи іншого компонента вектора, відповідні ділянки карти фарбуються в певний колір. Усі дані були розділені на 26 кластерів (рис. 2).

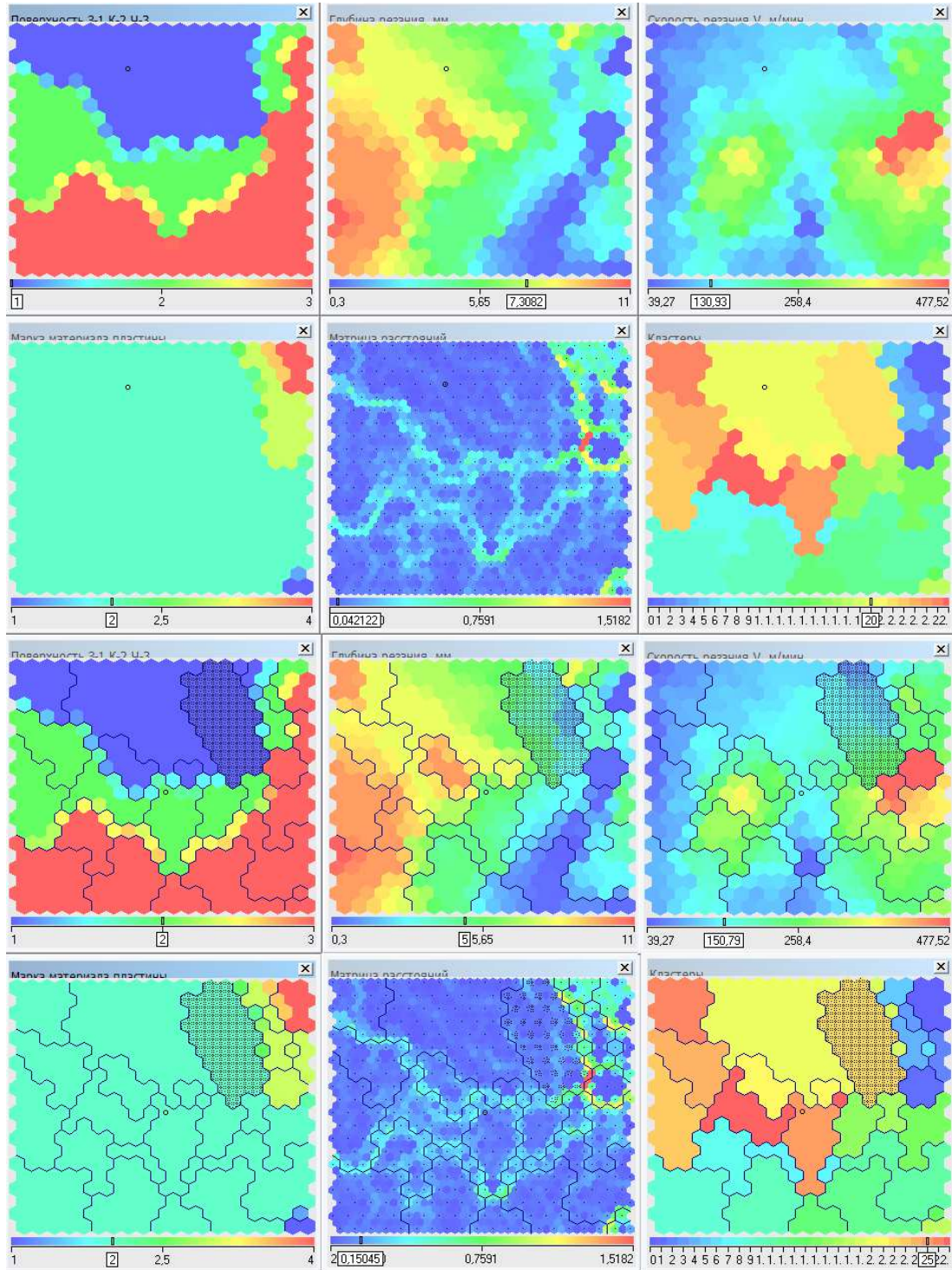


Рис. 2. Кластеризація параметрів експлуатації фрез для визначення технологічних ніш при обробці вуглецевих сталей

Формуємо вектор вхідних даних. Для різних етапів проектування конструкції фрези вектор вхідних даних для пошуку ніші складається з різних параметрів.

Для етапу конструювання торцевої фрези необхідно визначення типорозмірів: діаметра фрези, розміру і форми різальної пластини. У проведеному дослідженні вхідний вектор складається з таких показників:

- якість оброблюваної поверхні;
- глибина різання  $t$ , яка визначає довжину різального леза і навантаження на фрезу;
- швидкість різання;
- марка матеріалу різальної частини інструменту.

Для цього стовпцям, які не використовувались у поточному дослідженні, було присвоєно значення «Інформаційний», надалі у процесі аналізу вони не враховувалися. Стовпцям «Глибина різання» і «Швидкість різання» було надано речовий тип, а стовпцям «Поверхня» і «Марка матеріалу пластини» – цілий. Для визначення якості поверхні встановлено числові значення. Для забрудненої корки – 1, для корки – 2, для чистої поверхні – 3. Усі ці дані використовувалися як вхідні. Радіус навчання становив на початку навчання – 4, а в кінці – 0,1. При цьому спосіб початкової ініціалізації карти – з власних векторів, початковий навчальний і випадковими значеннями.

Загальна кількість записів була розділена на дві множини: навчальна і тестова. У навчальній множині містилося 85 записів (89,5 %), а в тестовій – 10 записів (10,5 %). За результатами аналізу даних програма розпізнала 60 % тестових записів.

Після пред'явлення достатнього числа вхідних векторів синаптичні ваги мережі Кохонена стають здатні визначити кластери. В нашому випадку на виході формуються кластери, тобто технологічні ніші, що дозволять визначитися з типом конструкції фрези і її типорозміром на основі розмірів різальної пластини.

Після попередньої обробки сформовані кластери представлено в табличній формі (табл. 2). Тут же надано рекомендації по вибору конструкцій, які сформував експерт, на основі результатів розподілу. Пропоновані варіанти конструкцій фрез представлено на рис. 3.

Таблиця 2. Розподіл на кластери умов експлуатації фрез

Група кластерів	Кластери	Характер поверхні	Глибина $t$ , мм	Швидкість $V$ , м/хв	Марка матеріалу	Конструкція фрези
1	0, 18	3	0,3 - 0,55	188 - 478	МК	Kennametal Hertel R232
2	1, 2	3	0,5 - 3	251 - 475	ВК6	W75SP15D
3	3, 4	2	3,5 - 4,0	247,8 - 296,6	ВК6	Касета 1
4	5	1, 2	5,9 - 8	150,6 - 225,7	ВК6	T-Line
5	6, 7	2, 3	3,02 - 5,5	122,7 - 248,5	T5K10	Касета 1
6	8 - 13	3	1,1 - 11	74,2 - 315,5	T5K10	Касета 2
7	14	3	1,33	281,5	T15K6	W75SP15D
8	15 - 17	2, 3	0,5 - 4,49	301,6 - 327,9	T5K10	Касета 1
9	23 - 25	2	4 - 10,2	45,2 - 200,9	T5K10	Касета 2
10	19 - 22,26	1	2,54 - 10	78,9 - 271,4	T5K10	Касета 1
11	27	1, 2	6,09 - 10	201,1 - 373,1	T5K10	Касета 2

На основі таблиці 2 і рисунку 2 можна відзначити наступне.

До першої групи кластерів входять прецеденти чистової механічної обробки з малою глибиною різання, великою швидкістю і використанням мінералокераміки, як матеріалу різальної частини. Тут є сенс використовувати фрези з круглими пластинами.

Групи кластерів 2 і 7 схожі за умовами обробки. Але відрізняються використовуваними матеріалами різальної частини. Оскільки вони відповідають в основному чистовій обробці матеріалу без корки з порівняно невеликою глибиною різання, доцільно використовувати фрези з можливістю регулювання в осьовому напрямку.

Групи кластерів 3, 5, 8, 10 відзначаються різними варіантами якості оброблюваної поверхні, значеннями глибини різання і матеріалом різальної частини. Але для обробки може бути ефективно використана фреза зі змінними касетами.

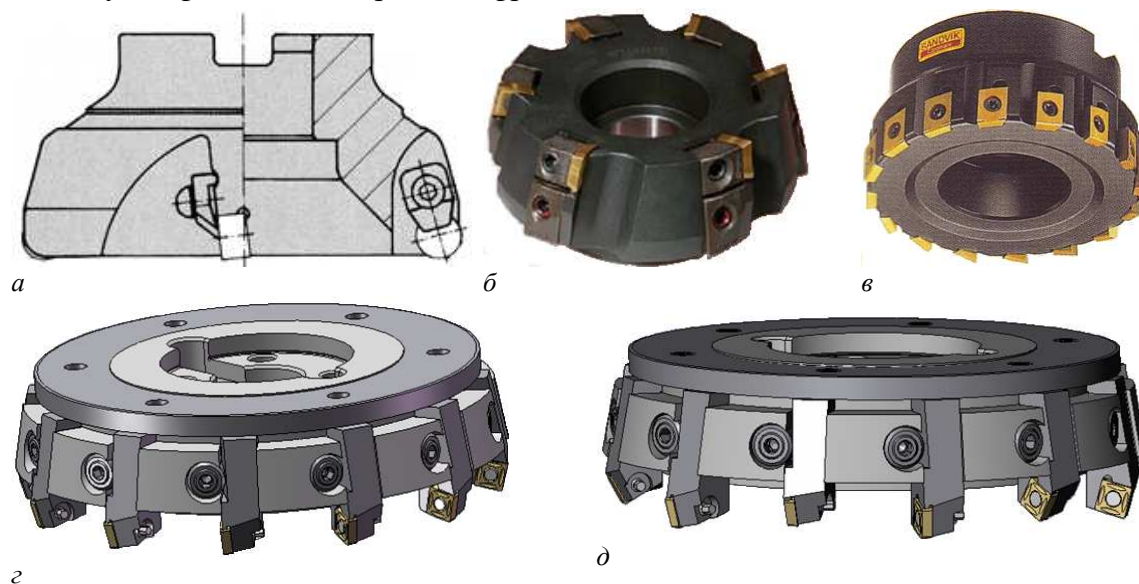


Рис. 3. Пропоновані варіанти конструкції торцевих фрез для технологічних ніш при обробці вуглецевих сталей: а – фреза Kennametal Hertel R232 для чистової обробки; б – фреза Pramet W75SP15D з можливістю регулювання в осьовому напрямку; в – фреза з тангенційним розташуванням багатограних пластин SANDVIK Coromant T-Line; г – фреза касетна  $\varphi=75^0$  «Касета 1»; д – фреза з діленням зрізу по ширині і товщині «Касета 2»

Окремо розглядається ситуація у групі 4, яка складається з одного кластера. Обробку по забрудненій корці з порівняно високою глибиною різання раціонально буде проводити фрезою з тангенційно розташованими пластинами.

Групи кластерів 6, 9, 11 відповідають обробці з великими глибинами і різними характеристиками оброблюваної поверхні. Вирішити проблему вібростійкості при такій обробці доцільно за допомогою використання фрез з діленням зрізу по довжині і ширині. Такі конструкції дозволяють виконувати обробку з меншими енерговитратами.

**Висновки.** Кластери, що формує мережа Кохонена, можна інтерпретувати як технологічні ніші, оскільки вхідний вектор містить всі необхідні параметри для їх утворення.

Карти Кохонена мають властивість трансформувати багатовимірний простір в простір з нижчою розмірністю. З урахуванням цього у роботі вперше запропоновано загальний підхід до вирішення задачі формування технологічних ніш для визначення зон найбільш ефективного використання відповідних типів конструкції фрез. Це надає можливість релевантного вибору існуючих конструкцій, типорозмірів корпусів і пластин, а також обґрунтувати вимоги при створенні нових конструкцій.

Змістовний аналіз отриманих кластерів дозволяє виявити існуючі на кожному окремому підприємстві закономірності технологічних умов використання різального інструменту.

Отриману навчену карту Кохонена можна використовувати для автоматизації пошуку технологічних ніш в масивах даних експлуатації інструменту для різних підприємств, для котрих є в наявності ідентичний набір вхідних даних.

#### Список використаних джерел

1. Быков В. В., Быков В. П. Исследовательское проектирование в машиностроении. Москва : Машиностроение, 2011. 256 с.

2. Asunción, Álvarez, Tom Ritchey. Applications of General Morphological Analysis From Engineering Design to Policy Analysis. *Acta Morphologica Generalis AMG. Swedish Morphological Society*. 2015. Vol. 4, No. 1. 40 p. URL: <http://www.amg.swemorph.com/pdf/amg-4-1-2015.pdf>.
3. Автоматизоване проектування і виготовлення виробів із застосуванням CAD/CAM/CAE-систем : монографія / О. Ф. Тарасов та ін. Краматорськ : ЦТРІ «Друкарський дім», 2017. 239 с.
4. Сборный твердосплавный инструмент / Г. Л. Хае и др. ; под общ ред. Г. Л. Хаета. Москва : Машиностроение, 1989. 256 с.
5. Мельников А. Ю., Аносов В. Л., Прекрасный Д. Е. Разработка информационной системы для маркетинговых исследований и анализа надежности. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. Харьков, 2006. № ½. С. 122–127.
6. Большаков А. А., Каримов Р. Н. Методы обработки многомерных данных и временных рядов : учебное пособие для вузов. 2-е изд., стереотип. Москва : Горячая линия-Телеком, 2015. 522 с.
7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. : пер. с англ. Москва : Издательский дом «Вильямс», 2016. 1104 с.
8. Абрамова Т. В. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа многомерной информации / Абрамова Т. В. и др. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2014. 442 с.
9. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / пер. с англ. А. А. Слинкина. Москва : ДМК Пресс, 2015. 400 с.
10. Анализ данных и процессов / А. А. Барсегян и др. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2009. 512 с.
11. Вендров А. М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. Москва : Финансы и статистика, 2005. 176 с.
12. BaseGroup Labs. Data analysis technologies. URL: <http://basegroup.ru>.

### References

1. Bykov, V. V., Bykov, V. P. (2011). *Issledovatel'skoe projektirovanie v mashinostroyenii [Research design in mechanical engineering]*. Mashinostroyeniye.
2. Álvarez, A., & Ritchey, T. (2015) Applications of General Morphological Analysis From Engineering Design to Policy Analysis. *Acta Morphologica Generalis AMG. Swedish Morphological Society*, 4(1). <http://www.amg.swemorph.com/pdf/amg-4-1-2015.pdf>.
3. Vasileva, L. V., Tarasov, O. F., Altukhov, O. V., Sagayda, P. I., Anosov, V. L. (2017). *Avtomatyzovane proektuvannia i vyhotovlennia vyrobiv iz zastosuvanniam CAD/CAM/CAE-system [Automated designing and manufacturing of products with the use of CAD/CAM/CAE-systems]*. Drukarskyi dim.
4. Khaet, G. L. (Ed.). (1989). *Sbornyy tverdosplavnyi instrument [Combined carbide tool]*. Mashinostroyeniye.
5. Melnikov, A. Yu., Anosov, V. L., Prekrasnyy, D.E. (2006). *Razrabotka informatsionnoy sistemy dlya marketingovykh issledovaniy i analiza nadezhnosti [Development of an information system for marketing research and reliability analysis]*. *Vostochno-Evropeskii zhurnal peredovykh tekhnologii – East European Journal of Enterprise Technologies*, ½, pp. 122–127.
6. Bolshakov, A. A., Karimov, R. N. (2015). *Metody obrabotki mnogomernykh dannykh i vremennykh ryadov [Methods of processing multidimensional data and time series]* (2nd ed.). Goriachaia liniya-Telekom.
7. Haikin, S. (2016). *Neyronnyye seti: polnyy kurs [Neural networks: a Comprehensive Foundation]*. (2nd ed.) (Translated from English). Izdatelskii dom «Viliams».
8. Abramova, T. V., Vaganova, E. V., Gorbachev, S. V., Syryamkin, V. I., Syryamkin, M. V. (2014). *Neiro-nechetkie metody v intellektualnykh sistemakh obrabotki i analiza mnogomerno informatsii [Neuro-fuzzy methods in intelligent systems for processing and analysis of multidimensional information]*. Izdatelstvo Tomskogo universiteta.
9. Flach, P. (2015). *Mashinnoe obuchenie. Nauka i iskusstvo postroyeniia algoritmov, kotorye izvlekaiut znaniia iz dannykh [Machine learning. The art and science of algorithms that make sense of data]*. (Translated from English by A. A. Slinkin). DMK Press.
10. Barseghyan, A. A., Kupriyanov, M. S., Kholod, I. I., Tess, M. D., Elizarov, S. I. (2009). *Analiz dannykh i protsessov [Analysis of data and processes]*. BHV-Petersburg.

11. Vendrov, A. M. (2005). CASE-technology. *Sovremennyye metody i sredstva proyektirovaniya informatsionnykh sistem [Modern methods and means of designing information systems]*. Finansy i statistika.

12. BaseGroup Labs. *Tekhnologii analiza dannykh [BaseGroup Labs. Data analysis technologies]*. <http://basegroup.ru>.

UDC 621.9.025.6: 004.89

Lina Bohdanova, Valerii Anosov

## DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL NICHES OF THE CUTTING TOOL CONSTRUCTION USING THE KOHONEN NETWORK

*The variety of existing tool designs makes it possible to rationally use certain types of structures depending on specific technological conditions. Relevant selection of tool designs for each specific situation determines the efficiency of the machining process.*

*When solving the problem of selecting existing and designing new cutting tools, it is necessary to process large amounts of multidimensional information and provide decision support at each stage of design and operation of the tool. For choice or design of the tool it is necessary to investigate the influence of technological parameters on the use of the particular construction.*

*Actual scientific researches and issues analysis is devoted to works on search of new and existing technical solutions, determination of areas for their effective use. Adaptation and use of data clustering methods in the design and selection of the tool will allow to implement them more reasonably and with less time.*

*The purpose of the article is to automate the determination of the zones of the most effective use of a specific tool design, i.e. the allocation of technological niches for cutters using data clustering methods.*

*A technique for automating the search for technological niches for cutting tool designs using data clustering is presented. Kohonen maps were used for this self-organizing. An example of the choice of face mill cutter designs that are most effective for specific technological conditions is given. Analysis of multidimensional data on machining use cases was performed using the analytical platform Deductor Studio.*

*In this work, for the first time, a general approach to solving the problem of forming technological niches to determine the areas of most efficient use of appropriate types of cutting structures, substantiation of sizes of housings and plates, as well as the creation of new constructions was presented. The obtained trained Kohonen map can be used to automate the search for technological niches.*

**Keywords:** clustering; Kohonen maps; cutting tool; machining; technological niche.

Fig.: 3. Table: 2. References: 12.

**Богданова Ліна Михайлівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Bohdanova Lina** – PhD in Technical science, Associate Professor of the Computer Information Technologies Department, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** libog3096@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5025-9358>

**SCOPUS Author ID:** 55258723700

**Аносов Валерій Леонідович** – старший викладач кафедри комп'ютерних інформаційних технологій, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Anosov Valerii** – Senior teacher of the Computer Information Technologies Department Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** valeryanosov68@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7362-4322>

**SCOPUS Author ID:** 5721977851