

УДК 621.91.01:519.237

С. П. Вислоух, О. В. Волошко, К.С. Барандич.

Національний технічний університет України, “Київський політехнічний інститут”

## **ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОБРОБЛЮВАНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

*В статті наведено методика визначення відносної та реальної оброблюваності конструкційних матеріалів. Для реалізації запропонованої методики пропонується використовувати методи багатовимірного статистичного аналізу – факторний, кластерний та дискримінантний аналіз. Наведено приклад застосування даної методики при визначенні відносної оброблюваності якісної вуглецевої сталі.*

### **Вступ**

Оброблюваність є однією з найважливіших технологічних характеристик конструкційного матеріалу, яка характеризує сукупність його властивостей, що визначає здатність матеріалу піддаватися обробці різальними інструментами.

Складність визначення оброблюваності конструкційних матеріалів полягає в не стаціонарності процесів механічної обробки. Тому практично не представляється можливим відтворення абсолютно ідентичних умов різання, необхідних для розрахунку відносної оброблюваності, а дискретність реєстрації значень необхідних характеристик в процесі експерименту та їх наступна графічна інтерпретація з метою отримання оптимальних рішень у багато разів знижує вірогідність визначення реальної оброблюваності (раціональних режимів різання). При цьому не останню роль грає часовий

фактор. Значні витрати часу, що зв'язані з проведенням експериментальних досліджень і наступною обробкою отриманих результатів багато в чому відштовхують технологів від безпосереднього застосування на виробництві теорії оброблюваності матеріалів.

В даний час основним підходом з призначення робочих режимів різання, як і раніше, залишається нормативно-довідковий. Кваліфікований технолог призначає режими обробки на підставі власного професійного досвіду. Однак подібний підхід стає неефективним з появою на виробництві нових, ще не апробованих матеріалів. При цьому строки, що відводяться на їхнє освоєння, вимагають автоматизації методів роботи технолога з розв'язання даних питань.

В роботах Д.В. Виноградова [1], В.Ф. Без'язичного [2] і С.В. Грубого [3,4] розглядаються питання визначення раціональних параметрів механічної обробки деталей в машинобудуванні. Але в цих роботах та в роботах інших авторів пропонується визначати оброблюваність матеріалів та режими різання шляхом проведення довготривалих експериментальних досліджень і за складною методикою, що вимагає також значних витрат часу, споживаної енергії, та матеріалів. Крім того, при визначенні режимів обробки не враховуються особливості конкретного конструкційного матеріалу.

### **Постановка задачі**

Відомо, що оброблюваність матеріалу в основному визначається його хімічним складом, фізико-механічними властивостями та структурою. Пропонується визначати оброблюваність конструкційного матеріалу не шляхом проведення тривалих експериментальних досліджень, що пов'язані з його деформуванням, наприклад різанням, а математичною обробкою інформації про склад та

властивості досліджуваного матеріалу, тобто неруйнівними методами.

Тому для визначення оброблюваності нових матеріалів необхідно виконати на основі порівняння характеристик досліджуваного матеріалу з відповідними характеристиками відомих конструкційних і інструментальних матеріалів. Але, зазвичай, кожний матеріал характеризується великим набором таких характеристик, як структура, хімічний склад, фізико-механічні властивості тощо. І тому таке порівняння традиційними методами виконати надто складно. Для вирішення цієї задачі пропонується методика, яка базується на використанні багатомірного статистичного аналізу, що включає методи зменшення розмірності масивів початкових даних без втрати їх інформативності, методи класифікації, групування, розпізнавання образів тощо.

Згідно з запропонованою методикою спочатку всі конструкційні, а також інструментальні матеріали поділяються на окремі класифікаційні групи за сукупністю інформації про їх структуру, хімічний склад та фізико-механічні властивості. Методами дискримінантного аналізу визначається група, до якої належить досліджуваний матеріал. Це дає можливість встановити умови та попередньо режими обробки цього матеріалу. Факторний аналіз дозволяє стиснути початкову інформацію для визначеної групи матеріалів і на основі отриманих змінних визначити узагальнені коефіцієнти оброблюваності кожного матеріалу. Шляхом порівняння отриманих коефіцієнтів досліджуваного та еталонного матеріалів можна встановити відносну оброблюваність, а введенням поправочного коефіцієнта – визначити раціональні режими обробки будь якого матеріалу групи на основі корегування нормативних даних.

Таким чином, застосування методів багатомірного статистичного матеріалу дозволяє без проведення витратних експериментальних досліджень визначити як відносну оброблюваність, так і раціональні режими обробки нового конструкційного матеріалу, а також оброблювальні можливості нового інструментального матеріалу.

**Методика визначення оброблюваності  
конструкційних матеріалів методами багатомірного  
статистичного аналізу**

Зазвичай відносна оброблюваність конструкційного матеріалу, як і відносні оброблювальні властивості інструментального матеріалу, визначаються шляхом проведення експериментів над досліджуваним та еталонним матеріалами при визначених однакових умовах (наприклад з однаковою швидкістю різання). Такий метод встановлення оброблюваності потребує значних витрат часу, коштів та електроенергії на приведення досліджень.

Встановлення реальної оброблюваності різанням конструкційного матеріалу полягає в визначенні режимів (швидкості різання та подачі), які є близькими до оптимальних, враховуючи особливості конкретного матеріалу. В нашому випадку такими характерними особливостями є його хімічний склад та фізико-механічні властивості, що відрізняють даний матеріал від інших матеріалів даної групи.

Можливості сучасної обчислювальної техніки та новітні економіко-математичні методи в вигляді методів багатомірного статистичного аналізу дозволяють по іншому підійти до розв'язання задачі визначення відносної та реальної оброблюваності. Для цього треба знати конкретні значення параметрів хімічного складу та фізико-механічних властивостей досліджуваного матеріалу. Дана інформація є початковою для запропонованої методики

визначення його оброблюваності, узагальнений алгоритм якої наведено на рис. 1.

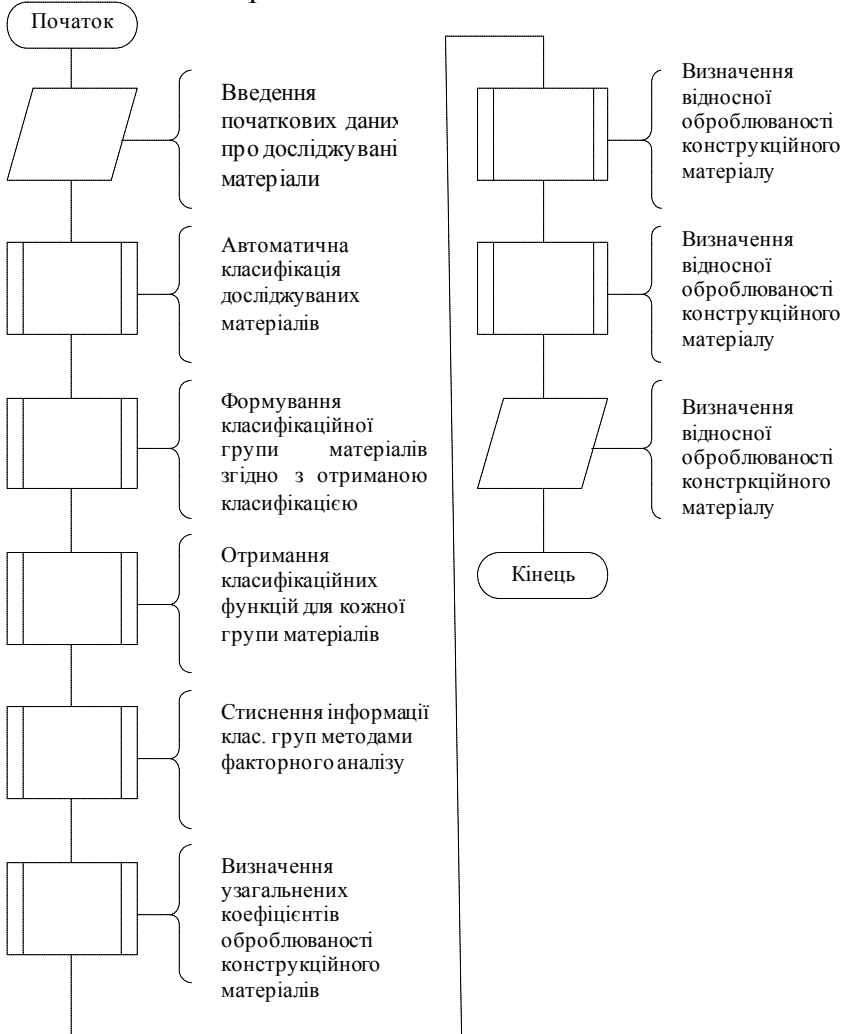


Рис. 1. Узагальнена схема алгоритму визначення оброблюваності конструкційних матеріалів з використанням методів багатомірного статистичного аналізу.

Згідно з запропонованою методикою всі конструкційні та інструментальні матеріали повинні бути попередньо поділені на класифікаційні групи за сукупністю фізико-механічних властивостей, хімічним складом та структурою. Для цього можна використати наявний в довідковій літературі класифікаційний поділ матеріалів на різноманітні групи (наприклад, вуглецеві, якісні вуглецеві, леговані, жаростійкі, жароміцні сталі тощо, алюміній та сплави на його основі, міді і мідно сплави, чавуни, титан і титанові сплави тощо) Більш точний поділ оброблюваних і інструментальних сталей на класифікаційні групи можна отримати використовуючи методику кластерного аналізу, а саме – автоматичну класифікацію [5].

Для визначення класифікаційних груп матеріалів для кожної із них методами дискримінантного аналізу доцільно отримати класифікаційну функцію [6]. Тоді, використовуючи класифікаційні функції для близьких за властивостями класифікаційних груп матеріалів на основі інформації про характеристики досліджуваного матеріалу, можна однозначно і об'єктивно встановити групу, до якої відноситься даний матеріал. Методи та умови обробки матеріалів даної класифікаційної групи, а також рекомендовані нормативними матеріалами режими різання цих матеріалів є початковими для визначення відносної та реальної оброблюваності досліджуваного матеріалу. З метою виключення експериментальних досліджень з процесу дослідження оброблюваності, що дозволить значно скоротити час на дослідження, зменшити матеріальні та енергетичні витрати, необхідно стиснути масиви початкової інформації про характеристики матеріалів класифікаційної групи, до якої віднесено досліджуваний матеріал. Це доцільно виконати методами факторного або компонентного аналізу [7]. Отримавши

таким чином, невелику кількість латентних змінних (або головних компонентів) можна їх використати для визначення відносної та реальної оброблюваності будь-якого конструкційного матеріалу.

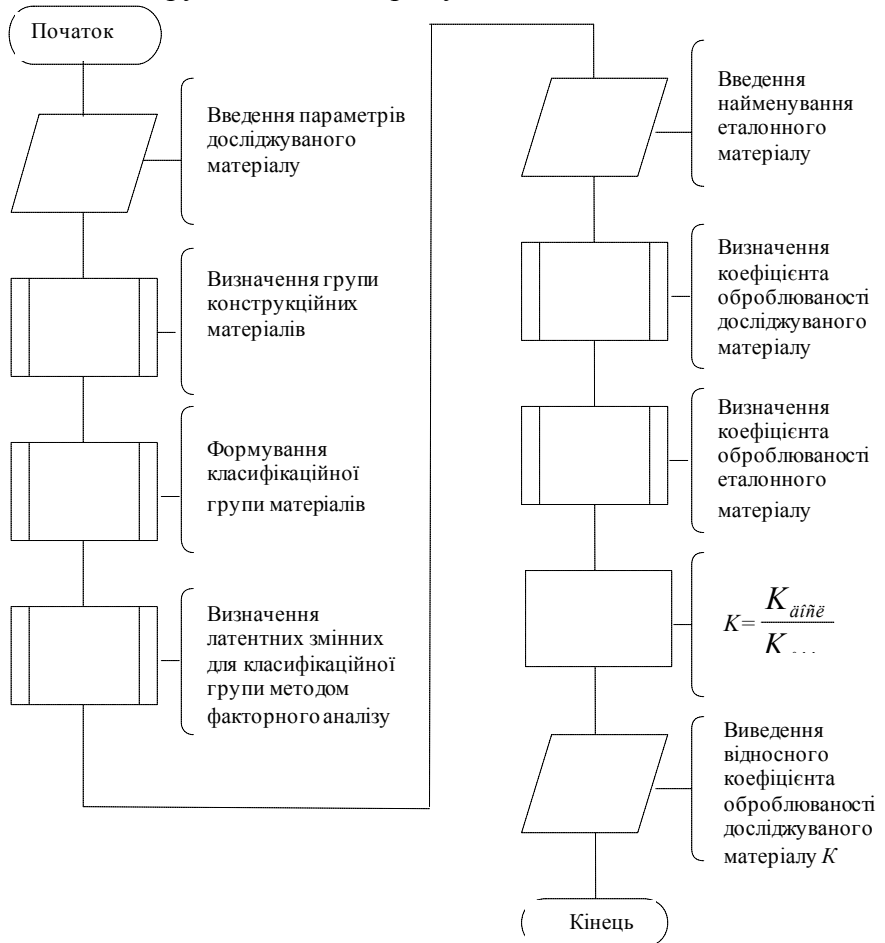


Рис. 2. Схема алгоритму визначення відносної оброблюваності досліджуваного конструкційного матеріалу.

На наступному етапі досліджень здійснюється визначення узагальнюючого коефіцієнта оброблюваності, що враховує особливості досліджуваного матеріалу. При цьому в розрахунковій формулі кожна латентна змінна (головна компонента) задається з ваговим коефіцієнтом, що вказує на її вклад в загальну інформативність всіх змінних (компонент).

Для визначення узагальненої відносної оброблюваності конструкційного матеріалу, як і оброблюваних властивостей інструментального матеріалу, необхідно вказати еталонний матеріал, відносно якого вона визначається.

Відношення узагальнюючих коефіцієнтів досліджуваного та еталонного матеріалу вказує на оброблюваність даного конструкційного матеріалу. Алгоритм визначення відносної оброблюваності досліджуваного матеріалу наведено на рис. 2.

Наведемо приклад застосування даної методики для визначення оброблюваності конструкційної сталі. Зазвичай відносну оброблюваність конструкційних матеріалів визначають шляхом порівняння параметрів обробки досліджуваного і еталонного матеріалів при однаковій швидкості різання. При цьому в якості еталону вибирають сталь 45. Як уже було вказано раніше, такий спосіб визначення оброблюваності вимагає довготривалих та вартісних експериментальних досліджень. Цей процес можна значно спростити й зменшити витрати часу, матеріалів та енергії шляхом використання запропонованої методики, що базується на використанні методів багатомірного статистичного аналізу. Для реалізації даної методики виконано стиснення початкової інформації про хімічний склад та фізико-механічні властивості якісних вуглецевих сталей, до групи яких відноситься досліджуваний матеріал. Масив початкової інформації цієї



класифікаційної групи сталей включає 29 найменувань матеріалів, що характеризуються 12 параметрами, а саме: вміст вуглецю С, марганцю Mn, кремнію Si, фосфору P, сірки S, хрому Cr та значення фізико-механічних характеристик  $\sigma_t$ ,  $\sigma_b$ ,  $\delta$ ,  $\zeta$ ,  $a_n$  й НВ. Засобами факторного аналізу встановлено, що вказані параметри можна представити двома латентними змінними (факторами) з інформативністю в 79,316% (таблиця 1). При цьому власні значення кореляційної матриці початкових даних не перевищують 1, що вибрано в якості критерію кількості використовуваних факторів.

Таблиця 1.

Значення власних векторів кореляційної матриці початкових даних та відповідні їм індивідуальні й накопичені дисперсії групи вуглецевих сталей.

№ факто-ру	Початкові власні значення та відповідні їм дисперсії			Дисперсії значимих компонент	
	Всього	Дисперсії кожної компоненти, %	Накопичена дисперсія, %	Дисперсії залишених компонент, %	Накопичена дисперсія, %
1	7,519	75,188	75,188	73,988	73,988
2	1,024	10,238	85,425	5,327	79,316
3	0,614	6,145	91,570		
4	0,409	4,091	95,661		
5	0,383	3,829	99,490		
6	0,022	0,224	99,714		
7	0,017	0,169	99,883		
8	0,006	0,062	99,945		
9	0,004	0,039	99,985		
10	0,002	0,015	100,000		

На рисунку 3 наведено графік залежності власних значень кореляційної матриці початкових даних від номера фактора для вуглецевих сталей.

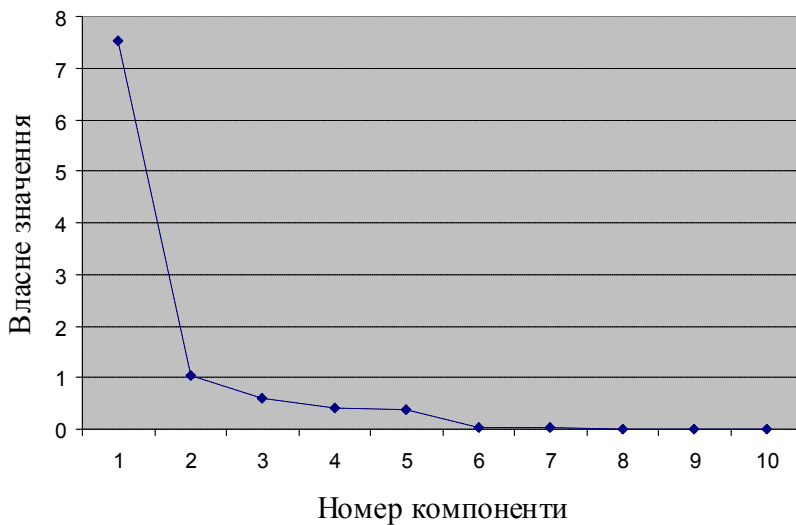


Рис. 3. Залежність власного значення від номера фактора для групи вуглецевих сталей.

В результаті обробки отриманих значень латентних змінних отримано коефіцієнти оброблюваності для кожного матеріалу групи якісних вуглецевих сталей. В таблиці 2 наведено значення латентних змінних та відповідні їм значення коефіцієнтів оброблюваності.

Таким чином, використовуючи коефіцієнти оброблюваності можна визначити відносну оброблюваність будь-якого конструкційного матеріалу даної групи відносно іншого (еталонного) матеріалу. Так, відносна оброблюваність сталі 70 відносно сталі 45 буде дорівнювати 0,714.

Аналогічно можна визначити оброблюваність матеріалів з іншої класифікаційної групи матеріалів. Для цього треба шляхом об'єднання відповідних груп

конструкційних матеріалів методами факторного аналізу визначити значення латентних змінних (факторів) для кожного матеріалу. Далі, шляхом використання запропонованої методики можна вирахувати відповідні кожному матеріалу узагальнені коефіцієнти оброблюваності.

Таблиця 2.

Значення латентних змінних та узагальнених коефіцієнтів для матеріалів вуглецевої групи сталей.

Найменування матеріалу	Латентні змінні (фактори)		Значення коефіцієнтів оброблюваності
08кп	-1,51763	-1,60530	1,375067
08пс	-1,35058	-0,65279	1,374647
08	-1,19497	0,05984	1,370652
10кп	-1,21183	-1,27198	1,307125
10пс	-1,13828	-0,33615	1,329766
10	-0,98768	0,38090	1,329395
15кп	-1,00184	-0,40884	1,262673
15пс	-0,86491	0,40027	1,262329
15	-0,71431	1,11731	1,261955
20кп	-0,88656	-0,52769	1,208749
20пс	-0,74963	0,28142	1,208405
20	-0,59903	0,99847	1,208034
25	-0,36875	1,27017	1,147961
30	-0,21247	1,11142	1,094176
35	0,03006	0,88347	1,031523
40	0,17445	0,72658	0,985746
45	0,40476	0,52278	0,975724
50	0,56234	0,37088	0,863986
55	0,70650	0,24297	0,81795
58	0,27481	-2,67515	0,809085
60	0,77167	0,15511	0,783299

65	0,89918	0,04143	0,73736
70	0,98471	-0,03769	0,696976
75	1,50802	-1,20505	0,530052
80	1,57263	-1,30773	0,497911
85	1,68689	-1,48115	0,454227
60Г	0,91434	0,69885	0,760821
65Г	1,11619	1,17832	0,705445
70Г	1,19192	1,06934	0,666964

### Висновки

1. Запропонована методика дозволяє визначити відносні оброблювальні властивості конструкційних та інструментальних матеріалів.

2. Надана методика визначення оброблювальних властивостей базується на дійсних значеннях параметрів оброблюваних та інструментальних матеріалів (хімічний склад та фізико-механічні властивості).

3. Надана методика дає можливість встановити раціональні режими обробки конкретного матеріалу з врахуванням його властивостей.

4. Використання методики визначення оброблюваності та раціональних режимів різання дозволяє значно зменшити час при проведенні експериментальних досліджень, витрати матеріалів та електроенергії.

5. Алгоритми та програми визначення раціональних режимів обробки конструкційних матеріалів можна використовувати автономно та в якості модуля підсистеми розрахунку режимів різання та нормування робіт в системі автоматизованого проектування технологічних процесів.

### Література:

1. Виноградов Д.В., К вопросу определения обрабатываемости материалов. [Электронный ресурс] /Виноградов Д. В. //Инженерное образование. - 2005. [www.techno.edu.ru](http://www.techno.edu.ru)

2. Безъязычный В.Ф. Автоматизированная система назначения технологических условий механической обработки деталей общего машиностроения. //Справочник. Инженерный журнал №2, 2001. – С. 29 – 33.

3. Грубый С.В. Многофакторная аппроксимация полиномиальными моделями экспериментальных зависимостей резания металлов. //Вестник машиностроения, 2000. №9. – С. 29-35.

4. Грубый С.В. Оптимизация режимных параметров на операциях механической обработки. //Технология металлов, 2002, №11. – С. 33-37.

5. Выслоух С.П. Применение методов кластерного анализа при проектировании технологических процессов. //Вестник Сев. ГТУ. Выпуск 36: Автоматизация процессов и управление. Сб. Научн. Трудов Севастоп. Нац. Техн. ун-т. – Севастополь, 2002. С. 103-108.

6. Выслоух С.П. Применение методов дискриминантного анализа при технологическом проектировании. //Резание и инструмент в технологических системах. Межвед. Научн.-техн. сборник. – Харьков: ХГПУ, 2001. – Вып. 60. С. 26-35.

7. Выслоух С.П. Факторный анализ технологической информации. //Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Выпуск 100. Машиностроение. - Харьков, 2000. С. 26-29.