

Олексій Самойленко¹, Гао Сінмін²

¹кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: o.samoilenko@kpi.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0403-1707>

²аспірант кафедри конструювання машин Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: 18152022190@163.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5473-5438>

ПІДГОТОВКА МОДЕЛЮВАННЯ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ, ВСТАНОВЛЕНОЇ У ФРАКТАЛЬНИХ ЛЕЩАТАХ

Стаття є публікацією науково-методичного характеру. Стаття присвячена підготовці віртуального експерименту фрезерної обробки складнопрофільної деталі, встановленої у фрактальних лещатах. Визначено недостатню представленість фрактальних лещат на ринку обладнання та їхню завищену вартість. Підібрані основні параметри та їхні рекомендовані значення для раніше розробленої математичної моделі процесу обробки. Запропоновано матрицю варіантів проведення віртуального експерименту, з якої обрано декілька варіантів, найбільш придатних для подальшого моделювання та порівняння із результатами натурного експерименту.

Ключові слова: лещата; фрактальні губки; фрезерування; складнопрофільна деталь; моделювання; віртуальний експеримент.

Рис.: 5. Табл.: 3. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Машинобудування і металообробка завжди потребували можливості обробки деталей, які мають складні форми і виходять за межі традиційних тіл обертання або ж тіл, обмежених паралельними та перпендикулярними площинами. Крім проблеми виготовлення таких деталей, постає проблема їхнього закріплення на металорізальному верстаті для подальшої обробки.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування фрактальних лещат [1]. Твердження [2], що фрактальні лещата практично відсутні на ринку верстатного оснащення, потребує деякого уточнення. Вказані лещата іноді зустрічаються серед пропозицій деяких маркетплейсів, однак, дійсно – пропозиція дуже обмежена, тому загальні та спеціалізовані пошукові машини мережі Інтернет можуть їх не виявляти.

Найбільший китайський маркетплейс *AliExpress* пропонує фактично дві моделі фрактальних лещат, конструкція яких відповідає патенту США № US1059545A [7].

Лещата [8] (рис. 1) виготовлені з конструкційної сталі та являють собою верстатне пристосування, яке призначене для використання в промисловості в умовах ремонтного та одиничного виробництва.

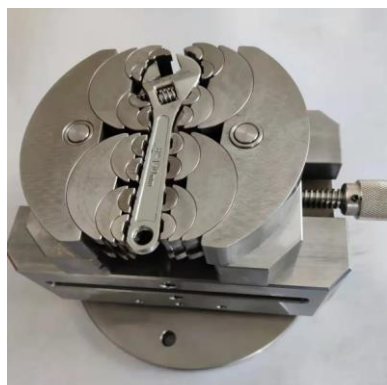


Рис. 1. Промислові фрактальні лещата з конструкційної сталі

Джерело:

https://a.aliexpress.com/_EGbo3EN



Рис. 2. Промислові фрактальні лещата з нержавіючої сталі

Джерело:

https://a.aliexpress.com/_ExwSmKh



Рис. 3. Любительські фрактальні лещата з алюмінієвого сплаву

Джерело:

https://a.aliexpress.com/_Ew1hdZL

Фрактальні лещата [6] (рис. 2) мають, по суті, таку саму конструкцію, але виготовлені з нержавіючої сталі та мають деякі другорядні відмінності, що не впливають на функціонал. Обидві конструкції лещат мають 4-рівневі фрактальні губки.

Лещата [5] (рис. 3) мають дещо спрощену конструкцію в порівнянні з двома попередніми. Вони мають 3-рівневі фрактальні губки та виготовлені з алюмінієвого сплаву. Ці лещата вбачаються практично непридатними для використання у важкому машинобудуванні та металообробці, однак можуть бути використані в хобійній діяльності.

Розглянуті фрактальні лещата є немеханізованими та мають ручний привід затиску. Тобто, непридатні для використання в автоматизованому виробництві.

Також спільною негативною рисою представлених фрактальних лещат є їхня висока вартість. Станом на час написання статті, вартість лещат була такою (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняння вартості фрактальних лещат (орієнтовні значення)

Модель фрактальних лещат	Вартість, дол. США		
	Виріб	Доставка	Загальна
4-рівневі лещата з конструкційної сталі	7304	311	7615
4-рівневі лещата з нержавіючої сталі	4171	445	4616
3-рівневі лещата з алюмінієвого сплаву	1678	415	2093

Джерело: розроблено авторами.

Таким чином, вартість фрактальних лещат (які є лише верстатним пристосуванням, до того ж немеханізованим, з ручним приводом) співрозмірна з вартістю самого фрезерного верстата (не тільки на вторинному, а й на первинному ринку) та вбачається необґрунтовано завищеною. Надзвичайно висока ціна незрозуміла, оскільки в конструкції фрактальних лещат не використовуються дорогі матеріали, а поверхні деталей цих лещат описані типовими поверхнями (площинами, циліндрами, конусами тощо), тобто такими поверхнями, які були доступні для металообробки початку ХХ століття на момент їхнього патентування.

Втім, цілком можливо, що в недалекому майбутньому можуть скластись такі сприятливі обставини в промисловості, що фрактальні лещата отримають «друге життя», як це ставалося із багатьма іншими винаходами й технічними рішеннями. Наприклад, дульнозарядна гвинтівка в ХХІ столітті вбачається анахронізмом, проте й сьогодні виготовляється деякими провідними виробниками як мисливська зброя преміум-сегмента [9].

Тому доцільним є подальше дослідження такого цікавого технічного об'єкта, як фрактальні лещата поряд з іншими універсальними лещатами із цілком ймовірною перспективою суттєвого розширення їхнього застосування в осяжній перспективі.

Постановка задачі. З іншого погляду, фрактальні лещата та їхнє моделювання становлять значний академічний інтерес.

Фрактальні лещата зі своєю схемою затиску деталі займають деяке проміжне положення між традиційними лещатами з двома затискними елементами (паралельними губками) та оригінальними лещатами [3], у яких затискні елементи виконані у вигляді еластичних ємностей, заповнених деякою стійкою до стискання субстанцією, яка при затиску складнопрофільної деталі ніби обволікує її за законом Паскаля. Якщо абстрагуватись від об'ємної моделі до плоскої, то з деякими допущеннями та умовностями можна вважати, що фрактальні губки взаємодіють із деталлю також за законом Паскаля.

В той же час, передбачається, що після затиску деталі губки набувають властивості деякого моноліту [2] і взаємодіють із закріпленою деталлю не лише за допомогою нормальних реакцій, але й силами тертя в місці контакту кінцевих елементів губок з поверхнею деталі.

Тобто створюється досить складана схема затиску, при якій немає остаточної ясності, як поведе себе процес механічної обробки закріпленої в лещатах деталі.

Мета дослідження. Метою дослідження на даному етапі є визначення основних положень плану віртуального експерименту, який полягає в математичному моделюванні обробки складнопрофільної деталі, встановленої у фрактальних лещатах.

Пропонується для використання сучасний засіб візуального моделювання динамічних систем *Simulink* [10] з пакета *MATLAB*.

Результати досліджень. Попередньо була запропонована плоска математична модель [2] механічної обробки (фрезерування) складнопрофільної деталі, закріпленої у фрактальних лещатах при деяких попередніх допущеннях.

Представлена математична модель базується на розрахунковій схемі (рис. 4).

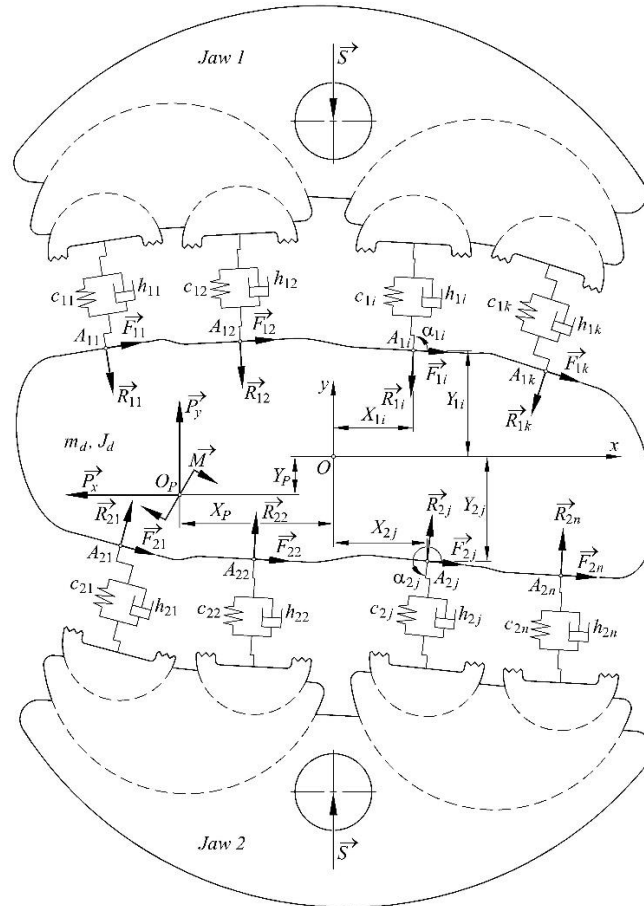


Рис. 4. Результуюча розрахункова схема обробки складнопрофільної деталі, встановленої у фрактальних лещатах

Джерело: розроблено авторами.

Математична модель являє собою систему із трьох диференційних рівнянь другого порядку (1), які описують плоскопаралельні зміщення оброблюваної деталі в площині XU та крутильні зміщення відносно осі Z .

$$\left\{ \begin{aligned} m_d \cdot \ddot{x} + \sum_{i=1}^k R_{1i} \cos \alpha_{1i} + \sum_{j=1}^n R_{2j} \cos \alpha_{2j} + \sum_{i=1}^k F_{1i} \cdot \sin \alpha_{1i} + \sum_{j=1}^n F_{2j} \cdot \sin \alpha_{2j} &= P_x(t) \\ m_d \cdot \ddot{y} + \sum_{i=1}^k R_{1i} \sin \alpha_{1i} + \sum_{j=1}^n R_{2j} \sin \alpha_{2j} + \sum_{i=1}^k F_{1i} \cdot \cos \alpha_{1i} + \sum_{j=1}^n F_{2j} \cdot \cos \alpha_{2j} &= P_y(t) \\ J_d \cdot \ddot{\phi} + \sum_{i=1}^k R_{1i} \cdot \sin \alpha_{1i} \cdot (X_{1i} + x) + \sum_{i=1}^k R_{1i} \cdot \cos \alpha_{1i} \cdot (Y_{1i} + y) + \sum_{i=1}^k F_{1i} \cdot \sin \alpha_{1i} \cdot (Y_{1i} + y) + \\ + \sum_{i=1}^k F_{1i} \cdot \cos \alpha_{1i} \cdot (X_{1i} + x) + \sum_{j=1}^n R_{2j} \cdot \sin \alpha_{2j} \cdot (X_{2j} + x) + \sum_{j=1}^n R_{2j} \cdot \cos \alpha_{2j} \cdot (Y_{2j} + y) + \\ + \sum_{j=1}^n F_{2j} \cdot \sin \alpha_{2j} \cdot (Y_{2j} + y) + \sum_{j=1}^n F_{2j} \cdot \cos \alpha_{2j} \cdot (X_{2j} + x) &= M(t) + P_x(t) \cdot (Y_p + y) + P_y(t) \cdot (X_p + x) \end{aligned} \right. , \quad (1)$$

де

$$\begin{cases} R_{1i} = h_{1i} \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + c_{1i} \cdot \sqrt{x^2 + y^2} + \frac{S}{k} \\ R_{2j} = h_{2j} \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + c_{2j} \cdot \sqrt{x^2 + y^2} + \frac{S}{n} \end{cases} \quad (2)$$

та

$$\begin{cases} F_{1i} = R_{1i} \cdot f \\ F_{2j} = R_{2j} \cdot f \end{cases} \quad (3)$$

Експлікація елементів математичної моделі – компонентів формул (1...3) подана в табл. 2.

Таблиця 2 – Елементи математичної моделі та їхні рекомендовані значення

Величина	Загальне позначення	Розмірність	Значення
Маса деталі	m_d	кг	1...5
Момент інерції деталі	J_d	кг·м ²	0,5...1,5
Зусилля затиску	S	Н	3000...5000
Кількість кінцевих губок першої та другої фрактальних губок	k, n	б/р	$k = n = 4$
Координати точок контакту кінцевих губок і деталі	X_{1i}, Y_{1i} X_{2j}, Y_{2j}	м	визначаються після затиску деталі
Кути орієнтації кінцевих губок в точках контакту з деталлю	α_{1i}, α_{2j}	рад	визначаються після затиску деталі
Результуюча сили різання вздовж осі X	P_x	Н	1000...3000
Результуюча сили різання вздовж осі Y	P_y	Н	2000...5000
Момент різання	M	Н·м	100...500
Координати точки прикладення силових факторів процесу різання	X_p, Y_p	м	визначаються за потребами моделювання
Сили реакції кінцевих губок у точках контакту	R_{1i}, R_{2j}	Н	var
Сили тертя між кінцевими губками і поверхнею деталі в точках контакту	F_{1i}, F_{2j}	Н	var
Коефіцієнт тертя в точках контакту	f	б/р	0,3
Коефіцієнти пружності кінцевих губок у точках контакту	c_{1i}, c_{2j}	Н/м	20000...50000
Коефіцієнти демпфування кінцевих губок у точках контакту	h_{1i}, h_{2j}	Н·с/м	визначаються за аналогією
Зміщення деталі вздовж осі X	X	м	var
Зміщення деталі вздовж осі Y	Y	м	var
Кутове зміщення деталі відносно осі Z	φ	рад	var
Час моделювання	t	с	0...10 ⁴

Джерело: розроблено авторами.

Представлена математична модель певною мірою універсальна – вона передбачає теоретично необмежену кількість рівнів фрактальних губок.

Однак, з метою раціонального використання наявних обчислювальних ресурсів, на думку авторів, слід обмежитись трьома (як на рис. 4) або чотирма фрактальними рівнями. По-перше, така кількість рівнів відповідає конструкції реальних лещат, представленим на ринку промислового обладнання. По-друге, менша кількість рівнів (1 або 2) зводить нанівець переваги фрактальних лещат.

Процес фрезерування, який прийнято за основний робочий процес, в контексті математичного моделювання характеризується такими силовими факторами (на площині):

- сумарна сила різання P , яка представлена ортогональними складовими P_x та P_y , що виходять із геометричного центру фрези O_p ;
- сумарний момент різання M , який прикладений у тій же точці O_p .

Сама точка O_p характеризується координатами X_p, Y_p відносно геометричного центру лещат – точки O .

Таким чином, процес фрезерування забезпечує потрібні силові фактори як для плоскої моделі.

Силові фактори процесу різання не є постійними в часі, а залежать від ряду випадкових чинників, зокрема:

- геометричних параметрів інструменту (відхилення радіусу інструменту, кількість z зубців фрези тощо);
- неоднорідність матеріалу оброблюваної деталі (зокрема, наявність раковин);
- температурні та інші випадкові процеси тощо.

Тому попередньо приймається, що випадкові відхилення значень силових факторів процесу фрезерування будуть в межах $\pm 10\%$.

Наступним етапом підготовки до математичного моделювання є визначення руху фрези (рис. 5) відносно точки O .

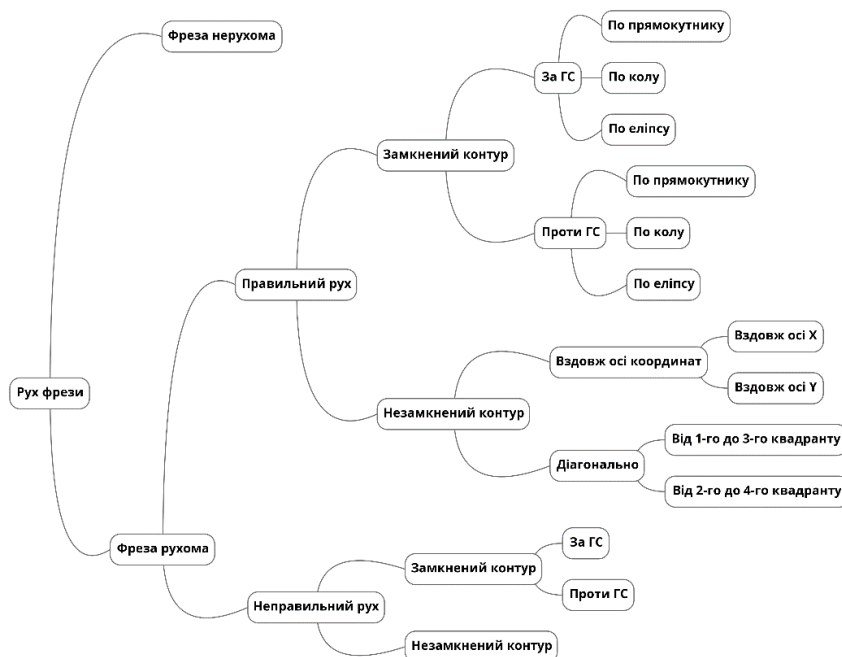


Рис. 5. Варіанти руху фрези в контексті математичного моделювання

Джерело: розроблено авторами.

При нерухомій фрезі вважається, що точка O_p нерухома, тобто її координати X_p, Y_p незмінні.

Натомість при рухомій фрезі одна або обидві координати X_p, Y_p змінні в часі:

- при русі вздовж координатної осі одна з координат змінна в часі, а інша незмінна;
- рух за прямокутною траєкторією є комбінацією рухів вздовж координатних осей, тобто, фреза обходить деякий наперед заданий прямокутний контур;
- рух по діагоналі передбачає, що обидві координати X_p, Y_p одночасно змінюються в часі.

Оскільки в універсальних фрезерних верстатах величина подачі виставляється органами керування верстата й у процесі фрезерування є величиною незмінною, то вважається, що при згаданих рухах (вздовж осі, по прямокутнику та діагонально) координати X_p, Y_p змінюються за лінійним законом:

$$X_p(t) = X_{p_0} + v_x \cdot t \text{ та (або) } Y_p(t) = Y_{p_0} + v_y \cdot t, \quad (4)$$

де X_{p_0}, Y_{p_0} – деякі початкові значення, м;

v_x, v_y – швидкість подачі фрези вздовж координатних осей, м/с, причому $v_x = const$ та $v_y = const$.

Передбачається, що рух по колу та еліпсу, а також неправильне переміщення можуть бути реалізовані на верстаті з ЧПК, при цьому координати X_p, Y_p (4) змінюються за нелінійним законом, тобто $v_x = var$ та $v_y = var$.

Рух «за годинниковою стрілкою» (ГС) або «проти годинникової стрілки» має значення в контексті зустрічного або супутнього фрезерування. При цьому вважається, що в усіх випадках фреза має обертання в «позитивному» напрямку, тобто, «проти годинникової стрілки».

В усіх варіантах руху фрези вважається, що вона не виходить за межі деталі. Тобто відсутнє переривчасте різання, а силові фактори процесу фрезерування ніколи не набувають нульових значень.

Головною метою віртуального експерименту на цьому етапі є порівняння заданої та реальної траєкторій фрези й аналіз впливу параметрів пружно-демпфуючих елементів, зусилля затиску тощо на результат.

На підставі аналізу елементів математичної моделі (табл. 2), варіантів руху фрези (рис. 5) та деяких вищезгаданих допущень складається морфологічна матриця варіантів проведення віртуального експерименту (табл. 3).

Таблиця 3 – Морфологічна матриця варіантів проведення віртуального експерименту (неповна)

Параметр	Значення	
1	2	
1. Рух фрези	1.1. Фреза нерухома 1.2. Вздовж осі X 1.3. Вздовж осі Y 1.4. Діагонально від 1-го до 3-го квадранту 1.5. Діагонально від 2-го до 4-го квадранту 1.6. Проти ГС по прямокутнику 1.7. Проти ГС по колу 1.8. Проти ГС по еліпсу	1.9. За ГС по прямокутнику 1.10. За ГС по колу 1.11. За ГС по еліпсу 1.12. Проти ГС за неправильним замкненим контуром 1.13. За ГС за неправильним замкненим контуром 1.14. За неправильним незамкненим контуром
2. Маса деталі	2.1. 1 кг 2.2. 3 кг 2.3. 5 кг	
3. Момент інерції деталі	3.1. 0,5 кг·м ² 3.2. 1,0 кг·м ² 3.3. 1,5 кг·м ²	
4. Результуюча сили різання вздовж осі X	4.1. 1000 Н 4.2. 2000 Н 4.3. 3000 Н	
5. Результуюча сили різання вздовж осі Y	5.1. 2000 Н 5.2. 3500 Н 5.3. 5000 Н	

Закінчення таблиці 3

Параметр	Значення
6. Момент різання	6.1. 100 <i>H·м</i> 6.2. 300 <i>H·м</i> 6.3. 500 <i>H·м</i>
7. Зусилля затиску	7.1. 3000 <i>H</i> 7.2. 4000 <i>H</i> 7.3. 5000 <i>H</i>
8. Зворотний зв'язок	8.1. Відсутній (розімкнена модель) 8.2. Наявний (замкнена модель)

Джерело: розроблено авторами.

При цьому, якщо в табл. 2 значення елемента математичної моделі подане у вигляді діапазону, то рекомендується для цього елемента брати три варіанти значень:

- ближче до нижньої межі діапазону;
- ближче до верхньої межі діапазону;
- середнє арифметичне або середнє геометричне значення.

Технологічна система «верстат – лещата – інструмент – заготовка» є замкненою динамічною системою із від'ємним зворотним зв'язком [4]. Однак, в порядку віртуального експерименту слід провести незначну кількість досліджень саме з розімкненою системою (без зворотного зв'язку) з подальшим порівнянням з рештою досліджень.

Навіть така неповна матриця передбачає понад 20 тисяч варіантів проведення віртуального експерименту:

$$N = 14 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 = 20412 .$$

Тому проведення однофакторного експерименту є недоцільним та фактично неможливим з огляду витрат часу та раціонального використання наявних обчислювальних потужностей.

Для проведення багатфакторного експерименту попередньо обрано 10 найбільш характерних комбінацій параметрів:

$$X_1 = 1.4 - 2.3 - 3.3 - 4.3 - 5.3 - 6.3 - 7.1 - 8.2$$

$$X_2 = 1.5 - 2.3 - 3.3 - 4.3 - 5.3 - 6.3 - 7.3 - 8.2$$

$$X_3 = 1.6 - 2.3 - 3.3 - 4.3 - 5.3 - 6.3 - 7.1 - 8.2$$

$$X_4 = 1.9 - 2.3 - 3.3 - 4.3 - 5.3 - 6.3 - 7.3 - 8.2$$

$$X_5 = 1.4 - 2.3 - 3.1 - 4.3 - 5.3 - 6.3 - 7.1 - 8.2$$

$$X_6 = 1.5 - 2.3 - 3.3 - 4.1 - 5.3 - 6.3 - 7.3 - 8.2$$

$$X_7 = 1.6 - 2.3 - 3.3 - 4.3 - 5.1 - 6.3 - 7.1 - 8.2$$

$$X_8 = 1.9 - 2.3 - 3.3 - 4.3 - 5.3 - 6.3 - 7.1 - 8.2$$

$$X_9 = 1.4 - 2.3 - 3.3 - 4.3 - 5.3 - 6.3 - 7.1 - 8.1$$

$$X_{10} = 1.9 - 2.3 - 3.3 - 4.3 - 5.3 - 6.3 - 7.3 - 8.1$$

Доцільність того чи іншого параметра визначатиметься наявністю реально існуючого верстатного обладнання, інструменту, оснащення та витратних матеріалів, які визначатимуть натурний експеримент і порівняння його результатів із результатами експерименту віртуального.

Висновки.

1. Фрактальні лещата представлені на ринку верстатного оснащення, але в дуже обмеженому асортименті та з невиправдано завищеною вартістю.

2. Кількість можливих комбінацій параметрів віртуального експерименту обчислюється десятками, а то й сотнями тисяч. Тому проведення однофакторного віртуального експерименту не тільки недоцільне, але й неможливе на практиці. Слід зосередитись на багатфакторному експерименті на базі 10...12 комбінацій параметрів.

3. Комбінації параметрів для багатофакторного експерименту слід обирати залежно від наявної матеріальної бази (металообробне обладнання, оснащення до нього тощо) з перспективою порівняння результатів віртуального і натурного експериментів.

Список використаних джерел

1. Кузнецов, Ю. М. Передумови використання системно-морфологічного підходу та теорії фракталів при створенні лещат для об'єктів складної форми / Ю. М. Кузнецов, Г. Сінмін, О. В. Самойленко // Наукові вісті КПІ. – 2021. – № 4. – С. 52-57. DOI: <https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.4.261849>.
2. Кузнецов, Ю. М. Створення математичної моделі процесу фрезерування складнопрофільної деталі, закріпленої у фрактальних лещатах / Ю. М. Кузнецов, Г. Сінмін, О. В. Самойленко // Перспективні технології та прилади. – 2023. – № 22. – С. 74-80. DOI: <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-22-11>.
3. Лещата [Електронний ресурс] : пат. 21917 Україна : В25В1/00. № u200611012 ; заявл. 18.10.2006 ; опубл. 10.04.2007, Бюл. № 4. – 3 с. – Режим доступу: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/304575>.
4. Струтинський, В. Б. Динамічні процеси в металорізальних верстатах : монографія / В. Б. Струтинський, В. М. Дрозденко. – Київ : Основа-Принт, 2010. – 440 с.
5. 3 stage black aluminum fractal vise for hobby [Electronic resource] / AliExpress. [aliexpress.com](https://a.aliexpress.com/_Ew1hdZL). – Access mode: https://a.aliexpress.com/_Ew1hdZL.
6. 4 stage stainless fractal vise for use [Electronic resource] / AliExpress. [aliexpress.com](https://a.aliexpress.com/_ExwSmKh). – Access mode: https://a.aliexpress.com/_ExwSmKh.
7. Device for obtaining intimate contact with, engaging, or clamping bodies of any shape [Electronic resource] : patent US1059545A United States : B25B5/163. No. US1912685288A – 10 p. – Access mode: <https://patents.google.com/patent/US1059545A/en>.
8. Fractal Vise [Electronic resource] / AliExpress. [aliexpress.com](https://a.aliexpress.com/_EGbo3EN). – Access mode: https://a.aliexpress.com/_EGbo3EN.
9. Model 700 Ultimate [Electronic resource] / Remington. Remington [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.remarms.com/rifles/muzzleloading/model-700-ultimate>.
10. Simulink – Simulation and Model-Based Design. MathWorks – Makers of MATLAB and Simulink [Electronic resource] / MATLAB & Simulink. – Access mode: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>.

References

1. Kuznetsov, Yu.M., Sinmin, H., & Samoilenko, O.V. (2021). Prerequisites for using the system-morphological approach and the theory of fractals in the creation of vices for objects of complex shape. *Scientific news of KPI*, (4), 52–57. <https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.4.261849>
2. Kuznetsov, Yu.M., Sinmin, H., & Samoilenko, O.V. (2023). Creation of a mathematical model of the milling process of a complex profile part fixed in a fractal vise. *Promising technologies and devices*, (22), 74–80. <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-22-11>.
3. Kuznetsov, Yu.M., Khamuiela, T.O., & Panchenko, M.M. (2007). Vise (Patent of Ukraine No. 21917). National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/304575>.
4. Strutynskiy, V.B., & Drozdenko, V.M. (2010). *Dynamic processes in metal cutting machines*. Osнова-Prynt.
5. 3 stage black aluminum fractal vise for hobby – AliExpress. (n.d.). [aliexpress.com](https://a.aliexpress.com/_Ew1hdZL). https://a.aliexpress.com/_Ew1hdZL
6. 4 stage stainless fractal vise for use – AliExpress. (n.d.). [aliexpress.com](https://a.aliexpress.com/_ExwSmKh). https://a.aliexpress.com/_ExwSmKh
7. Kunze, P.K. (1913). Device for obtaining intimate contact with, engaging, or clamping bodies of any shape (Patent USA № US1059545A). <https://patents.google.com/patent/US1059545A/en>.
8. Fractal Vise – AliExpress. (n.d.). [aliexpress.com](https://a.aliexpress.com/_EGbo3EN). https://a.aliexpress.com/_EGbo3EN.
9. Model 700 Ultimate (n.d.). Remington. <https://www.remarms.com/rifles/muzzleloading/model-700-ultimate>.
10. Simulink – Simulation and Model-Based Design. (n.d.). MathWorks – Makers of MATLAB and Simulink – MATLAB & Simulink. <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>.

Отримано 13.02.2024

Oleksii Samoilenko¹, Gao Xingmin²

¹PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Machine Design
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: o.samoilenko@kpi.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0403-1707>

²Postgraduate Student at the Department of Machine Design

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (People Republic of China)

E-mail: 18152022190@163.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5473-5438>

SIMULATION PREPARATION OF THE MILLING PROCESSING OF THE PART INSTALLED IN THE FRACTAL VICE

The article is a publication of scientific and methodical character. The article is devoted to the preparation of a virtual experiment of milling processing of a complex profile part, which is installed in a fractal vice. It was determined that fractal vices are presented on the technological equipment market in a very limited range. At the same time, the cost of fractal vices is unreasonably high. The cost is commensurate with the cost of the milling machine itself. However, modeling the processing of a part mounted in a fractal vise is of considerable academic interest. Fractal vices use Pascal's law on the plane (with some assumptions). The mathematical model proposed earlier was further developed. The model is flat and consists of a system of three differential equations of the second order. The equations describe plane-parallel and torsional movements of the part. Selected main parameters and their recommended values for the mathematical model of the processing process. At this stage, the main goal of the virtual experiment is to compare the set and real trajectories of the milling cutter. Also, the goal is to analyze the influence of parameters of elastic-damping elements, clamping force, etc. on the result. A matrix of options for conducting a virtual experiment is proposed. The matrix provides a large number of possible movements of the cutter relative to the part (simple, complex, locked, unlocked). It was determined that the matrix of options allows for a large number of possible processing options. From this set, several options are selected, the most suitable for further modeling and comparison with the results of a natural experiment. It is believed that the technological system "machine – vice – tool – workpiece" is a closed dynamic system with negative feedback. However, it is necessary to investigate the behavior of the system without feedback and compare it with the rest of the experiments.

Key words: vise; fractal jaws; milling; complex profile part; modeling; virtual experiment.

Fig.: 5. Table: 3. References: 10.