

УДК 621.941 – 229.3

В.Н. Волошин, аспір.

Ю.М. Кузнецов, д.т.н., проф.

Національний технічний університет України "КПІ"

МАТРИЧНІ МОДЕЛІ СПОСОБІВ ПЕРЕНАЛАГОДЖЕННЯ ЗАТИСКНИХ ПАТРОНІВ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ

Наведені математичні моделі на основі матриць, які дозволяють імітувати процес переналагодження швидкопереналагоджуваних затискних патронів токарних верстатів і можуть служити базою для їх пошукового проектування.

Закріплення заготовок при автоматизованій токарній обробці в умовах серійного і дрібносерійного виробництва реалізується швидкопереналагоджуваними автоматичними затискними патронами [1], які виконують функції базування, закріплення та утримання заготовки в процесі обробки, а в умовах ГВС – гнучкими системами затискних патронів [2, 3]. Правильний вибір способу переналагодження таких затискних патронів (або їх систем) на стадії проектування в значній мірі визначає техніко-економічні показники та ефективність функціонування автоматизованого обладнання для токарної обробки.

Імітаційне моделювання процесу переходу затискного патрона з одного типорозміру деталі на інший можливе лише при наявності відповідних математичних моделей способів переналагодження. Вони повинні розкривати такі характеристики, як тип елемента базування і затиску, його орієнтацію, вид координатних рухів при переході на відповідний діапазон затиску, а також бути орієнтованими на використання ЕОМ в процесі моделювання і служити базою для пошукового проектування швидкопереналагоджуваних затискних патронів (або їх систем).

Перерахованим вимогам найбільше відповідають моделі на основі матриць [4]. При використанні цих моделей моделювання процесу переходу затискного патрона з одного типорозміру заготовки на інший зводиться до виконання операцій над матрицями моделі за правилами матричного аналізу [5].

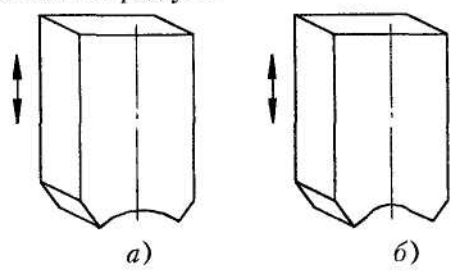
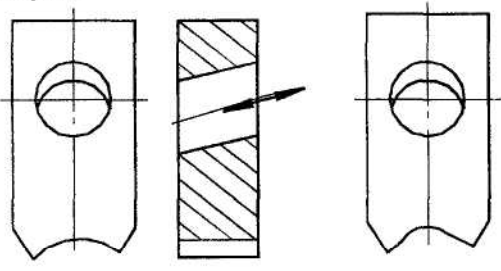
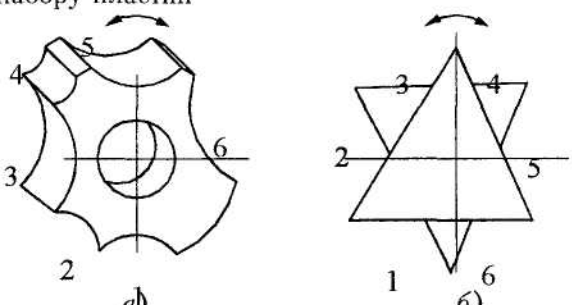
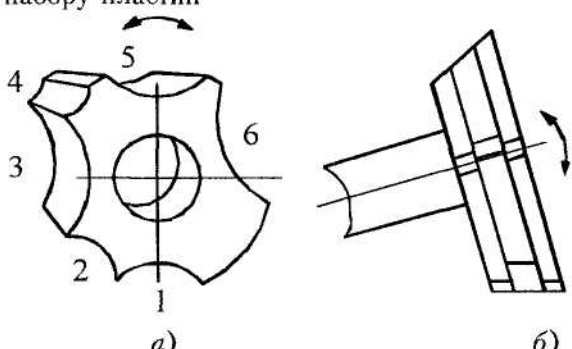
В умовах багатонаменклатурного виробництва найбільш ефективними є способи переналагодження, які базуються на принципі концентрації певного числа діапазонів затиску в одному затискному елементі [6], що дозволяє охопити весь робочий діапазон діаметрів виробів одним або двома комплектами затискних елементів і зменшити собівартість затискних патронів. При цьому переналагодження затискного патрона здійснюється за рахунок рухів маніпулювання цими елементами (переміщення, поворот, поворот і переміщення і т.д.). Компонентами моделей даних способів переналагодження є:

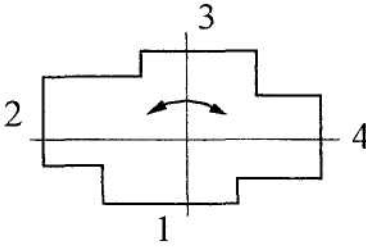
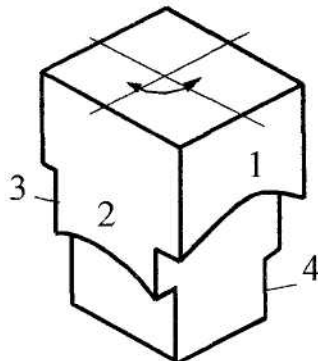
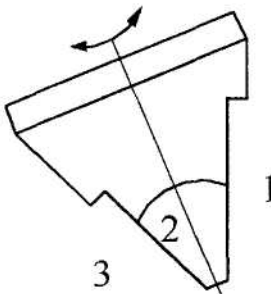
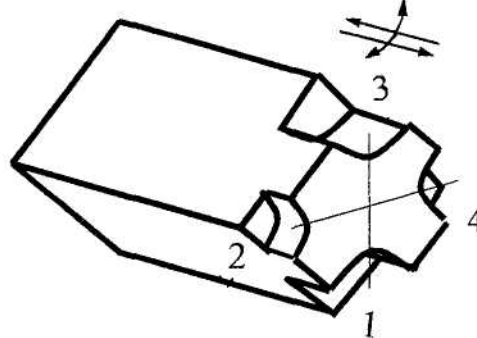
- концептуальні моделі затискних елементів, роль яких виконують матриці ZE , що характеризують їх положення в будь-який поточний момент часу;
- концептуальні моделі механізмів переналагодження, роль яких виконують циклічна одинична матриця C та наддіагональна одинична матриця P , що забезпечують функцію переходу на відповідний діапазон затиску;
- концептуальна модель зміни напрямку переходу з одного діапазону діаметрів на інший, роль якої виконує оператор T транспонування матриць C і P .

Вихідний стан затискного елемента в залежності від типу, осі повороту або осі напрямку переміщення задається $(1 \times m)$ – матрицею-рядком або $(1 \times m)$ – матрицею-стовпцем ZE_i^i (m – число діапазонів затиску; i – індекс відповідного типу затискного елемента, $i = 1, 2, \dots$). Матриці вихідного стану затискних елементів подані в табл. 1. Циклічна одинична матриця C та наддіагональна одинична матриця P мають вигляд:

$$C = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}; \quad P = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Таблиця 1
Матричні моделі вихідного стану затискних елементів

Тип затискного елемента	Матрична модель
<p>1. Призматичний з віссю, паралельною осі заготовки, і розточками: а) – одного радіуса; б) – декількох радіусів</p>  <p style="text-align: center;">а) б)</p>	<p style="text-align: center;">2</p> $ZE_1^i = \begin{vmatrix} \Delta d_1 & \Delta d_2 & \Delta d_3 & \dots & \Delta d_m \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{vmatrix}$ <p>$\Delta d_1, \Delta d_2, \Delta d_3, \dots, \Delta d_m$ – діапазони діаметрів затиску; 1 – поточне положення затискного елемента; i – індекс затискного елемента; $i=1$ – для елемента а); $i=2$ – для елемента б)</p>
<p>2. Призматичний з віссю під кутом до осі заготовки і розточками: а) – одного радіуса; б) – декількох радіусів</p>  <p style="text-align: center;">а) б)</p>	$ZE_1^i = \begin{vmatrix} \Delta d_m & 0 \\ \vdots & \vdots \\ \Delta d_3 & 0 \\ \Delta d_2 & 0 \\ \Delta d_1 & 1 \end{vmatrix}$ <p>$i=3$ – для елемента а); $i=4$ – для елемента б)</p>
<p>3. Фасонний з горизонтальною віссю, паралельною осі шпинделя: а) у вигляді диска; б) у вигляді набору пластин</p>  <p style="text-align: center;">а) б)</p>	$ZE_1^i = \begin{vmatrix} \Delta d_1 & \Delta d_2 & \Delta d_3 & \dots & \Delta d_m \\ \Delta d_1 & \Delta d_2 & \Delta d_3 & \dots & \Delta d_m \end{vmatrix}$ <p>$\Delta d_1, \Delta d_2, \Delta d_3, \dots, \Delta d_m$ – розточки під відповідний діапазон діаметрів затиску; 1, 2, 3, ..., m – номери вихідного положення розточок; $i=5$ – для елемента а); $i=6$ – для елемента б)</p>
<p>4. Фасонний з віссю, нахиленою під кутом до осі шпинделя: а) у вигляді диска; б) у вигляді набору пластин</p>  <p style="text-align: center;">а) б)</p>	$ZE_1^i = \begin{vmatrix} \Delta d_1 & \Delta d_2 & \Delta d_3 & \dots & \Delta d_m \\ \Delta d_1 & \Delta d_2 & \Delta d_3 & \dots & \Delta d_m \end{vmatrix}$ <p>$\Delta d_1, \Delta d_2, \Delta d_3, \dots, \Delta d_m$ – розточки під відповідний діапазон діаметрів затиску; 1, 2, 3, ..., m – номери вихідного положення розточок; $i=7$ – для елемента а); $i=8$ – для елемента б)</p>

1	2
Тип затискного елемента	Матрична модель
<p>5. Фасонний з горизонтальною віссю, перпендикулярною осі заготовки (шпинделя)</p> 	$3E_1^9 = \begin{vmatrix} \Delta d_1 & \Delta d_2 & \Delta d_3 & \Delta d_4 \\ \Delta d_5 & \Delta d_6 & \Delta d_7 & \Delta d_8 \end{vmatrix}$ <p>$\Delta d_1, \Delta d_2, \Delta d_3, \dots, \Delta d_8$ – розточки під відповідний діапазон діаметрів затиску; чисельник і знаменник вказують про можливість затиску у двох діапазонах при фіксованому положенні затискного елемента</p>
<p>6. Призматичний з розточками на гранях і вертикальною віссю, перпендикулярною до осі заготовки</p> 	$3E_1^{10} = \begin{vmatrix} 1 & \Delta d_1 \\ 2 & \Delta d_2 \\ 3 & \Delta d_3 \\ 4 & \Delta d_4 \end{vmatrix}$ <p>$\Delta d_1, \Delta d_2, \Delta d_3, \Delta d_4$ – розточки під відповідний діапазон діаметрів затиску; 1, 2, 3, 4 – номери вихідного положення розточок</p>
<p>7. Призматичний з розточками на гранях і віссю, нахиленою під кутом до осі, перпендикулярної до осі заготовки</p> 	$3E_1^{11} = \begin{vmatrix} 1 & \Delta d_1 \\ 2 & \Delta d_2 \\ 3 & \Delta d_3 \\ 4 & \Delta d_4 \end{vmatrix}$ <p>$\Delta d_1, \Delta d_2, \Delta d_3, \Delta d_4$ – розточки під відповідний діапазон діаметрів затиску; 1, 2, 3, 4 – номери вихідного положення розточок</p>
<p>8. Призматичний з розточками на торці n-гранний</p> 	$3E_1^{12} = \begin{vmatrix} 1 & 2 & \dots & m \\ z & \Delta d_1 & \Delta d_2 & \dots & \Delta d_m \\ n & 0 & 0 & \dots & 0 \end{vmatrix}$ <p>z – положення діапазонів при затиску; n – положення діапазонів при налагодженні</p>

Розглянемо побудову конструкцій матричних моделей способів переналагодження на основі вищевказаних компонентів.

На рис. 1, а наведена схема переналагодження затискного патрона на потрібний діапазон за рахунок радіального переміщення затискних кулачків 4 у відповідне положення. У даному випадку функцію переміщення виконує окремий кінематичний ланцюг, який включає конічну шестерню 1, спіральний диск 2, який через основні кулачки 3, що розміщені в спіральному диску, взаємодіє із затискними кулачками 4.

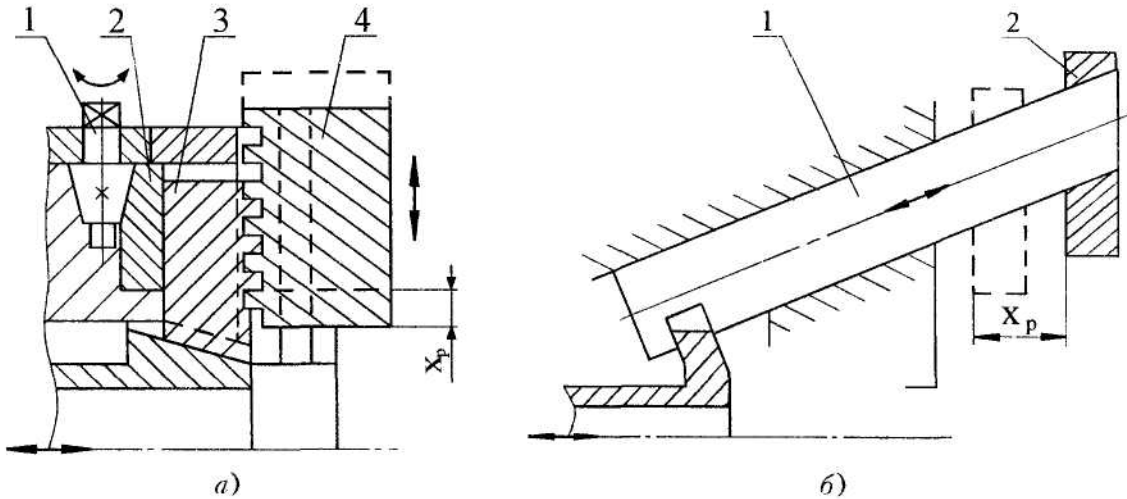


Рис. 1. Схеми переналагодження затискних патронів шляхом переміщення затискних елементів: а – в радіальному напрямку; б – вздовж осі, розташованої під кутом; x_p – хід переналагодження

Переміщенню затискного кулачка з вихідного положення на один діапазон від центра відповідає множення справа матриці ZE_1^1 (табл. 1) на наддіагональну одиничну матрицю P :

$$ZE_1^1 \cdot P = \begin{vmatrix} \Delta d_1 & \Delta d_2 & \Delta d_3 & \dots & \Delta d_m \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta d_1 & \Delta d_2 & \Delta d_3 & \dots & \Delta d_m \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \end{vmatrix} = ZE_2^1.$$

Для переміщення затискного елемента з вихідного стану на два діапазони необхідно два рази перемножити матрицю ZE_1^1 на матрицю P .

У загальному випадку моделювання процесу переміщення затискних елементів з l_1 -го текучого стану на l_1 кроків у відцентровому напрямку проводиться множенням справа матриці ZE_l^i ($i = 1, 2$) l_1 раз на наддіагональну одиничну матрицю P , а на l_2 кроків до центра – l_2 раз на транспоновану наддіагональну одиничну матрицю P^T , тобто:

$$ZE_l^i \cdot (P^{l_1} \nabla (P^T)^{l_2}) = ZE_l^i \cdot P^{l_1} \nabla ZE_l^i \cdot (P^T)^{l_2}. \tag{1}$$

Матриця P^T має вигляд:

$$P^T = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Матрична модель способу переналагодження затискного патрона за рахунок переміщення затискних елементів 2 вздовж осі плунжера 1, нахиленого під кутом до осі патрона (рис. 1, б), має вигляд:

$$(P^{l_1} \nabla (P^T)^{l_2}) \cdot ZE_l^i = P^{l_1} \cdot ZE_l^i \nabla (P^T)^{l_2} ZE_l^i. \tag{2}$$

В даній моделі матриця поточного стану затискного елемента ZE_i^i ($i = 3, 4$) множитьсся на наддіагональну матрицю зліва, а не справа, як у випадку (1).

На рис. 2, а подана схема переналагодження затискного патрона шляхом повороту на певний кут багатопрофільних затискних елементів 3, виконаних за одне ціле з плунжером 1, з наступною їх фіксацією за допомогою фіксаторів 2. Повороту затискних елементів на один крок за годинниковою стрілкою відповідає множення справа матриці ZE_1^7 вихідного стану (табл. 1) на циклічну матрицю C :

$$ZE_1^7 \cdot C = \begin{vmatrix} \Delta d_1^1 & \Delta d_2^2 & \Delta d_3^3 & \dots & \Delta d_m^m \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta d_m^1 & \Delta d_1^2 & \Delta d_2^3 & \Delta d_3^4 & \dots \end{vmatrix} = ZE_2^7.$$

Для повороту затискних елементів на два кроки за годинниковою стрілкою необхідно два рази перемножити матрицю ZE_1^7 на C , тобто:

$$ZE_1^7 \cdot C = ZE_3^7.$$

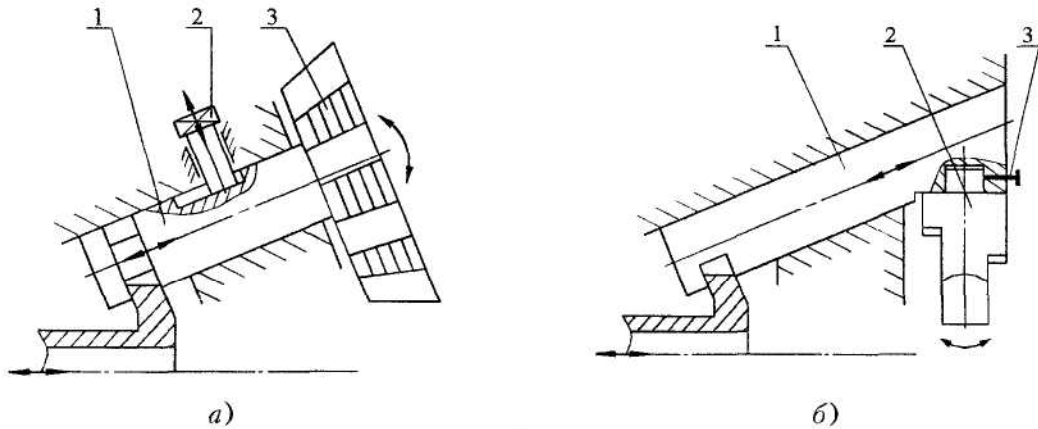


Рис. 2. Схеми переналагодження затискних патронів шляхом повороту багатопрофільних затискних елементів: а – навколо осі, розміщеної під кутом; б – навколо вертикальної осі

У загальному випадку для багатопрофільних затискних елементів, які описуються матрицями вихідного стану ZE_i^i ($i = 5, 6, 7, 8, 9$) (табл. 1), моделювання процесу повороту затискних елементів з k -го поточного стану на k_1 кроків за годинниковою стрілкою проводиться множенням справа ZE_k^i k_1 раз на циклічну матрицю C , а на k_2 кроків проти годинникової стрілки – множенням матриці ZE_k^i k_2 раз на транспоновану циклічну матрицю C^T :

$$ZE_k^i \cdot (C^{k_1} \vee (C^T)^{k_2}) = ZE_k^i \cdot C^{k_1} \vee ZE_k^i \cdot (C^T)^{k_2}. \tag{3}$$

Матриця C^T має вигляд:

$$C^T = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Для затискних елементів з матрицями вихідного стану ZE_i^i ($i = 10, 11$) (табл. 1) матрична модель процесу переналагодження відрізняється від моделі (3) тим, що матриця ZE_i^i множитьсся на матрицю C або C^T зліва, а не справа, тобто:

$$\left(C^{k_1} \vee (C^T)^{k_2}\right) \cdot ZE_k^i = C^{k_1} \cdot ZE_k^i \vee (C^T)^{k_2} \cdot ZE_k^i \quad (4)$$

Одна із схем переналагодження, яка описується (4), зображена на рис. 2, б, де поворот затискних елементів 2, встановлених у плунжерах 1, здійснюється навколо вертикальної осі 3 наступною їх фіксацією фіксатором 3.

Матрична модель способу переналагодження затискних патронів із затискними елементами, які описуються матрицею вихідного стану ZE_1^{12} (табл. 1), аналогічна до моделі (3) і відрізняється лише присутністю матриці P^T , що множиться зліва на матрицю ZE_k^{12} , моделюючи переміщення затискного елемента в позицію повороту, та матриці P , на яку множиться справа весь вираз, імітуючи переміщення повернутого затискного елемента у вихідну позицію:

$$P^T \cdot ZE_k^4 \cdot \left(C^{k_1} \vee (C^T)^{k_2}\right) \cdot P = P^T \cdot ZE_k^4 \cdot C^{k_1} \cdot P \vee P^T \cdot ZE_k^4 \cdot (C^T)^{k_2} \cdot P \quad (5)$$

На основі розглянутих вище моделей (1-5) можна побудувати узагальнену математичну модель, яка має вигляд:

$$MM = \alpha \cdot ZE \cdot \beta \cdot \gamma, \quad (6)$$

де $\alpha \in \{1, C^{k_1} \vee (C^T)^{k_2}, P^{k_1} \vee (P^T)^{k_2}, P^T\}$, $\beta \in \{1, C^{k_1} \vee (C^T)^{k_2}, P^{k_1} \vee (P^T)^{k_2}\}$, $\gamma \in \{1, P\}$, $k_1, k_2, l_1, l_2 = 1, 2, 3, \dots$, $ZE \in \{ZE_1^1, ZE_1^2, ZE_1^3, \dots, ZE_1^{12}\}$.

Розглянуті моделі можна уточнити, ввівши індекси біля матриць ZE^i , C і C^T , P , P^T , які вказують на одночасність чи послідовність маніпулювання затискними елементами та вид механізму переналагодження. Наприклад: ${}_{(o)}ZE^i$ – одночасне маніпулювання затискними елементами, $C_{(МП)}$ – поворот затискних елементів за допомогою маніпулятора.

Використовуючи даний підхід, можна побудувати матричні моделі способів переналагодження гнучких систем затискних патронів шляхом заміни затискних елементів із накопичувачів.

Розглянуті матричні моделі адекватно описують способи переналагодження затискних патронів і можуть служити основою для пошукового проектування систем гнучких затискних патронів. При “навантаженні” елементів матриць часом переходу на один крок імітаційне моделювання дозволяє отримувати часові характеристики способу переналагодження.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Schäper E.* Flexible Spannbaken für die Drehbearbeitung: http://www.iwf.tu-berlin.de/wzm/Forschung/Sp.../spann_flexibel.htm
2. *Weisser W.* Flexible Spannsysteme für die Drehbearbeitung // *Industrieanzeiger*, 1979, № 82. – С. 41–42.
3. *Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н.* Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. – М.: Машиностроение. – 1990. – 512 с.
4. *Наянзин Н.Г., Наянзин К.Н.* Матричные модели автоматизированных накопителей изделий // *Вестник машиностроения*. – 1998. – № 6. – С. 35–40.
5. *Гантмахер Ф.Р.* Теория матриц. – М.: Наука, 1988. – 552 с.
6. *Кузнецов Ю.М., Волошин В.Н.* Принципи швидкого переналагодження затискних патронів токарних верстатів // *Тези доповідей II Міжнародної конференції “Прогресивна техніка і технологія – 2001”*, Київ – Севастополь, 2001, – С. 66.

ВОЛОШИН Віталій Несторович – аспірант кафедри “Конструювання верстатів та машин” Національного технічного університету України “КП”.

Наукові інтереси:

- металорізальне обладнання.

КУЗНЕЦОВ Юрій Миколайович – доктор технічних наук, професор кафедри “Конструювання верстатів та машин” Національного технічного університету України “КП”.

Наукові інтереси:

- металорізальне обладнання.