

УДК 621.757; 681.52

В.М. Давигора, к.т.н., доц.

В.М. Кореньков, аспір.

Національний технічний університет України "КПІ"

ПРИКЛАД ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕДУР СИНТЕЗУ ТЕХНОЛОГІЧНО ДОЦІЛЬНИХ ПОРЯДКІВ ПОСЛІДОВНО-ПАРАЛЕЛЬНОГО СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

Розглянуто приклад розробки послідовності складання виробу з використанням формальних процедур прийняття проектних рішень. Запропоновані одна з математичних моделей виробу, призначена для автоматизації проектування технології складання, та методика формування технологічно доцільних порядків складання виробів.

Широке застосування верстатів з ЧПУ та роботизованих комплексів в сучасному машинобудуванні передбачає автоматизацію технологічної підготовки виробництва, зокрема, автоматизацію проектування технологічних процесів складання виробів. Спробою автоматизувати процес проектування послідовності складання виробів є методика „зворотного” синтезу технологічно доцільних порядків послідовно-паралельного складання виробів, основні положення якої викладені в [1] даного видання.

Зміст проектних процедур розглянуто на прикладі розробки маршруту складання виробу „Шайба гідравлічна” (рис. 1).

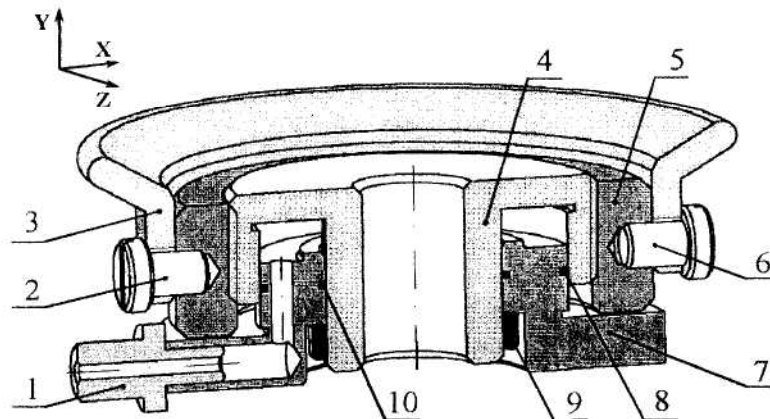


Рис. 1. Шайба гідравлічна

(1 – штицер; 2, 6 – гвинт; 3 – маховик; 4 – корпус; 5 – гайка затискна; 7 – поршень; 8, 10 – ущільнення; 9 – гайка стопорна)

Вихідні дані: тип виробництва – крупносерійне, організаційна форма – поточно-конвеєрне складання (наприклад, горизонтально замкнений конвеєр), переміщення вузлів – в супутниках, устаткування – не визначене.

Відповідно до вихідних даних, вимоги до ТПС матимуть вигляд:

- складання – послідовно-паралельне;
- максимальний склад СО;
- неперебазування БЕ на всіх операціях складання;
- монтаж деталей в будь-яких напрямках.

Наведена в [1] математична модель дозволяє використовувати будь-яку інформацію, що характеризує можливість відносного руху деталей у виробі. Так, з цією метою у [2] використовувались бінарні відношення обмеження рухливості (БВОР). БВОР – характеристика просторових зв'язків, що існують між деталями виробу. Вони визначають можливі поступальні та ротаційні переміщення деталей в певному напрямку, відносно обраної системи координат. Відношення обмеження рухливості задаються для кожної пари деталей виробу і можуть бути представлені, наприклад, у вигляді матриць або графів. В матрицях

БВОР $M_{(T,+)}$ розміром $N \times N$ (N – множина усіх найменувань деталей), кожній деталі a_i відповідає i -й рядок та i -й стовпчик. Елемент $m_{ij} \in M_{(T,+)}$ є не нульовим, якщо деталь a_i обмежує можливе переміщення деталі a_j в додатному напрямку $T=\{X, Y, Z\}$. Слід розрізняти контактні та віддалені БВОР. Контактні БВОР відображають наявність фізичного контакту між деталями a_i та a_j . Віддалені БВОР – мають місце у випадку, коли деталь a_i обмежує можливе переміщення деталі a_j , в напрямку що розглядається, однак віддалена від неї на певну відстань.

Вихідні матриці БВОР можуть бути отримані автоматично, за умови виконання конструкторської документації в одній з сучасних CAD-програм, наприклад SolidEdge [3].

Перший рівень декомпозиції виробу

Процедура Pr₁ введення вхідних даних. В $M_{(X+)}$, $M_{(Y+)}$, $M_{(Z+)}$ символом "1" позначені контактні БВОР, "8" – віддалені. Наприклад, $m_{32} = 1$ в $M_{(X+)}$ означає, що елемент S_3^0 безпосередньо обмежує S_2^0 в додатному напрямку осі X, а $m_{62} = 8$ в $M_{(X+)}$ – означає, що елемент S_6^0 віддалено обмежує S_2^0 в напрямку (X+). Вихідні матриці БВОР представлені на рис. 2.

M_x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-						1			
2		-			1					
3		1	-	8	1		8	8		8
4	8	8	8	-	1		1	1	1	1
5	8	1	1	1	-	1	8	8	8	8
6		8	1	8	1	-	8	8		8
7	1	8	8	1	8		-	1	8	1
8		8	8	1	8		1	-		8
9	8			1	8		8		-	
10		8	8	1	8		1	8		-

M_y	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-						1			
2	8	-	1			1				
3	8	1	-			1	8			
4				-	1		8	8	1	8
5	8	1		1	-	1	1			
6			1		1	-	8			
7	1						-	1	1	1
8							1	-		
9				1					-	
10							1	8		-

M_z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-									1
2		-	1			1				
3		1	-	8	1	1	8	8		8
4		8	-	1		1	1	1	1	1
5		1	1	1	-	1	8	8	8	8
6		1		1	1	-				
7	1		8	1	8		-	1	8	1
8		8	1	8		1	-			8
9			1	8		8		-		
10		8	1	8		1	8			-

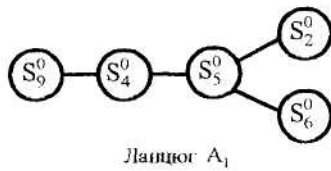
Рис. 2. Вихідні матриці $M_{(X+)}$, $M_{(Y+)}$ та $M_{(Z+)}$ простору переміщень деталей виробу

Простір переміщень деталі a_i відносно a_j знаходиться як напрямок, для якого $m_{ij} = 0$. Наприклад, деталь a_3 не обмежує переміщення деталі a_2 лише в напрямку (X-), так як $m_{23} = 0$, $m_{32} = 1$ в $M_{(X+)}$ та $m_{32} = m_{23} = 1$ в $M_{(Y+)}$, $M_{(Z+)}$. Отже, простір переміщення деталі a_2 відносно a_3 складає: $T_{23} = \{X-\}$.

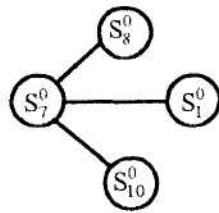
Процедура Pr₂ вибору базового елемента СО. З множини номерів деталей, що входять до складу СО, порядок складання якої проектується, вільні для доступу поверхні мають всі деталі, окрім S_8^0 , S_{10}^0 (в SolidEdge визначаються з допомогою команди SelectVisibleParts). За показниками максимального об'єму простору (добутку габаритних розмірів), маси, кількості вільних для доступу напрямків та кількості ЗЗН, як базовий приймається елемент S_7^0 (всі параметри також отримуються автоматично, за допомогою відповідних методу GetRange моделі деталі, команд PhysicalProperties та SelectVisibleParts, а також на основі аналізу матриць $M_{(X+)}$, $M_{(Y+)}$, $M_{(Z+)}$).

Процедура Pr₃ визначення ЗЗН, що належатимуть складальним одиницям нижчого рівня декомпозиції. Як видно з рис. 2, множина S_{11} містить 7 ЗЗН – пари деталей, для яких $T_{ij} = \emptyset$ (по всіх можливих напрямках – контактні обмеження). ЗЗН $\{S_1^0 - S_7^0\}$, $\{S_2^0 - S_5^0\}$, $\{S_4^0 - S_3^0\}$, $\{S_4^0 - S_9^0\}$, $\{S_5^0 - S_6^0\}$, $\{S_7^0 - S_8^0\}$, $\{S_7^0 - S_{10}^0\}$ утворюють два ланцюги

(рис. 3,а), всі можливі комбінації яких представлені в першому стовпчику A_q^1 таблиці (рис. 3,б). Одразу видно, що ЗЗН $\{S_1^0 - S_7^0\}$, $\{S_7^0 - S_8^0\}$ та $\{S_7^0 - S_{10}^0\}$ не можуть утворювати СО, оскільки до їх складу входить БЕ S_7^0 , тому вони при подальшому аналізі не враховуватимуться.



Ланцюг A_1



Ланцюг A_2

а)

Комбінації ЗЗН A_q^1	Множина B_q^1
$A_1^1 = \{S_2^0 - S_5^0\}$	$B_1^1 = \{S_3^0\}$
$A_2^1 = \{S_4^0 - S_5^0\}$	$B_2^1 = \emptyset$
$A_3^1 = \{S_4^0 - S_9^0\}$	$B_3^1 = \{S_7^0, S_8^0, S_{10}^0\}$
$A_4^1 = \{S_5^0 - S_6^0\}$	$B_4^1 = \{S_3^0\}$
$A_5^1 = \{S_2^0 - S_5^0 - S_4^0\}$	$B_5^1 = \{S_3^0\}$
$A_6^1 = \{S_2^0 - S_5^0 - S_6^0\}$	$B_6^1 = \{S_3^0\}$
$A_7^1 = \{S_4^0 - S_5^0 - S_6^0\}$	$B_7^1 = \{S_3^0\}$
$A_8^1 = \{S_4^0 - S_5^0 - S_9^0\}$	$B_8^1 = \{S_7^0, S_8^0, S_{10}^0\}$
$A_9^1 = \{S_2^0 - S_5^0 - S_4^0 - S_9^0\}$	$B_9^1 = \{S_3^0, S_7^0, S_8^0, S_{10}^0\}$
$A_{10}^1 = \{S_2^0 - S_5^0 - S_4^0 - S_9^0\}$	$B_{10}^1 = \{S_3^0, S_7^0, S_8^0, S_{10}^0\}$
$A_{11}^1 = \{S_2^0, S_6^0 - S_5^0 - S_4^0\}$	$B_{11}^1 = \{S_3^0\}$
$A_{12}^1 = \{S_2^0, S_6^0 - S_5^0 - S_4^0 - S_9^0\}$	$B_{12}^1 = \{S_3^0, S_7^0, S_8^0, S_{10}^0\}$

б)

Рис. 3. Ланцюги ЗЗН виробу (а) та групи елементів, що встановлюються перед утворенням відповідних комбінацій ЗЗН (б)

Процедура Pr_4 формування груп елементів, встановлення котрих передують утворенню ЗЗН. У відповідності до (5) [1] для кожної комбінації A_q^1 визначається множина елементів B_q^1 , обмежених в переміщенні по всім напрямкам $A_q^1 \cup B_q^1$. Наприклад, перед утворенням ЗЗН $S_4^0 - S_9^0$, необхідно встановити елементи S_7^0 , так як $T_{7(4,9)} \equiv \emptyset$, S_8^0 , так як $T_{8(4,7,9)} \equiv \emptyset$ та S_{10}^0 , так як $T_{10(4,7,8,9)} \equiv \emptyset$. Тобто, $A_3^1 = \{S_4^0, S_9^0\}$, $B_3^1 = \{S_7^0, S_8^0, S_{10}^0\}$. Групи B_q^1 інших комбінацій ЗЗН формуються аналогічно (рис. 3,б).

Процедура Pr_5 вилучення з розгляду груп, до складу яких входять базовий елемент СО. Множині C належить БЕ S_7^0 . Проаналізувавши склад всіх груп B_q^1 , можливо виявити, що $(B_3^1 \cap C) \wedge (B_8^1 \cap C) \wedge (B_9^1 \cap C) \wedge (B_{10}^1 \cap C) \wedge (B_{12}^1 \cap C) = S_7^0 \neq \emptyset$. Отже, утворення комбінацій ЗЗН $A_3^1, A_8^1, A_9^1, A_{10}^1, A_{12}^1$ спричинить потрапляння БЕ до складу СО нижчого рівня декомпозиції, що зробить неможливим її складання поза S_0 . Тому такі комбінації необхідно вилучити з подальшого аналізу, тобто, $C = \{A_4^1, A_8^1, A_9^1, A_{10}^1, A_{12}^1\}$. У випадку, коли до складу B_q^1 , що залишились, потрапляє хоча б один з елементів щойно утвореної множини C , перевірку повторюють.

Процедура Pr_6 об'єднання групи елементів в складальні одиниці. В результаті виконання попередньої процедури, визначені ЗЗН, які можуть утворювати СО нижчого рівня декомпозиції. Залишається визначити кількість таких СО. У перевірці умови (7) [1] немає необхідності, так як всі групи B_q^1 , що залишились, мають спільний елемент - S_3^0 (рис. 3,б), а тому будуть обмежувати одна одну по всіх координатних напрямках. СО, що входить до S_0 , складатиметься з елементів: $S_2^0 = \{a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$.

Оскільки кожна група деталей, що утворюють вузол, буде представлена як один елемент - необхідно трансформувати вихідні матриці. Тобто, видалити з $M_{(X+)}$, $M_{(Y+)}$ та $M_{(Z+)}$ всі деталі, що входять до складу СО, і включити новий об'єкт (СО S_2^0). Надавши йому відповідно до (1) властивостей БВОР, отримаємо матриці $M_{(X+)}^1, M_{(Y+)}^1, M_{(Z+)}^1$ - рис. 4.

$$\forall t \ m_{ij}^t = \begin{cases} 0, \ \forall S_k^i \ \forall S_q^j : m_{kq}^t = 0 \\ 1, \ \exists S_k^i \ \exists S_q^j : m_{kq}^t = 1 \\ 8, \ \exists S_k^i \ \exists S_q^j : (m_{kq}^t = 8) \wedge (\forall S_k^i \ \forall S_q^j \ m_{kq}^t \neq 1) \end{cases} \quad (1)$$

Формула (1) містить вислів про те, що якщо в напрямку t , яка-небудь деталь S_q^i СО S_k^j обмежує хоча б одну з деталей S_g^k СО S_k^j , то СО S_l^i обмежує можливе переміщення S_k^j в даному напрямку. БВОР в (1) слід розглядати в певному порядку: пріоритетним є контактні обмеження; віддалені розглядаються лише у випадку, коли між всіма елементами вузлів S_i^p та S_j^p відсутні контактні БВОР.

M_x	1	2	7	8	9	10
1	-		1			
2	8	-	1	1	1	1
7	1	1	-	1	8	1
8		1	1	-		8
9	8	1	8		-	
10		1	1	8		-

M_y	1	2	7	8	9	10
1	-		1			
2	8	-	1	8	1	8
7	1		-	1	1	1
8			1	-		
9		1			-	
10			1		8	-

M_z	1	2	7	8	9	10
1	-		1			
2		-	1	1	1	1
7	1	1	-	1	8	1
8		1	1	-		8
9		1	8		-	
10		1	1	8		-

Рис. 4. Трансформовані матриці $M_{(x+y)}^1$, $M_{(y+z)}^1$ та $M_{(z+x)}^1$ простору переміщень

Процедура Pr7 руйнування ЗЗН. Руйнування ЗЗН відображається заміною "1" на "0" в матриці, що відповідає осі монтажу обраного елемента (рис. 5). Вісь монтажу визначається шляхом звернення до CAD (для кожного ЗЗН) та визначення осі, паралельно якій рухаються твірні поверхонь спряження деталей даного ЗЗН.

Першими руйнуванню підлягають ЗЗН, до складу яких не входить БЕ (рис. 5).

M_x	1	2	7	8	9	10
1	-		1			
2	8	-	1	1	1	1
7	1	1	-	1	8	1
8		1	1	-		8
9	8	1	8		-	
10		1	1	8		-

M_y	1	2	7	8	9	10
1	-		1			
2	8	-	1	8	1	8
7	1		-	1	1	1
8			1	-		
9		1			-	
10			1		8	-

M_z	1	2	7	8	9	10
1	-		1			
2		-	1	1	1	1
7	1	1	-	1	8	1
8		1	1	-		8
9		1	8		-	
10		1	1	8		-

Рис. 5. Матриці $M_{(x+y)}^1$, $M_{(y+z)}^1$ та $M_{(z+x)}^1$ після руйнування ЗЗН

Процедура Pr8 розкладання СО. Про можливість видалення елементів свідчить нульовий рядок чи стовпчик матриці, які відповідають порядковому номеру елемента. При цьому, i -й стовпчик, всі значення якого рівні нулю, означає, що елемент S_i^j не обмежений в переміщенні в додатному напрямку, а рядок – у від'ємному напрямку осі, назва якої відповідає індексу матриці, що містить нульовий стовпчик чи рядок. Нульові рядки та стовпчики в $M_{(Y+)}^1$ – означають, що відповідні елементи можуть бути видалені паралельно з СО: $S_2^0 = \{a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$ – в напрямку (Y+), $S_9^0 = \{a_9\}$ – в напрямку (Y-). Видалення елементів супроводжується звуженням матриць (рис. 6).

M_x	1	7	8	10
1	-	1		
7	1	-	1	1
8		1	-	8
10		1	8	-

M_y	1	7	8	10
1	-	1		
7	1	-	1	1
8		1	-	
10		1		-

M_z	1	7	8	10
1	-	1		
7	1	-	1	1
8		1	-	8
10		1	8	-

Рис. 6. Матриці $M_{(x+y)}^2$, $M_{(y+z)}^2$ та $M_{(z+x)}^2$ після видалення елементів S_2^0 , S_9^0

Наступним кроком буде руйнування ЗЗН $\{S_1^0 - S_7^0\}$, $\{S_7^0 - S_8^0\}$, $\{S_7^0 - S_{10}^0\}$, яким, власне, закінчиться розкладання СО. Остаточню, порядок розкладання S_0 має вигляд:

$$[S_2^0(Y+) \vee S_9^0(Y-)] \wedge [S_1^0(X-) \vee S_8^0(Y+) \vee S_{10}^0(Y+)] \wedge S_7^0, \quad (2)$$

де \wedge – символ операції послідовного монтажу елементів;

\vee – символ операції як послідовного монтажу елементів так і паралельного, в будь-якому порядку.

Процедура Pr₉ формування послідовності складання СО. Послідовність складання S_0 отримується інвертуванням послідовності (2) та заміною на протилежні знаків, що вказують на напрямки переміщення елементів:

$$S_7^0 \wedge [S_1^0(X+) \vee S_8^0(Y-) \vee S_{10}^0(Y-)] \wedge [S_2^0(Y-) \vee S_9^0(Y+)] \quad (3)$$

Другий рівень декомпозиції виробу

Процедура Pr₁ введення вхідних даних. Як вихідні, використовується та частина початкових матриць, які містять інформацію про БВОР, що існують лише між деталями СО $S_2^0 = \{a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$ (рис. 7).

M_x	2	3	4	5	6	M_y	2	3	4	5	6	M_z	2	3	4	5	6	
2	-			1		2	-	1		1		2	-	1		1		
3	1	-	8	1		3	1	-			1	3	1	-	8	1	1	
4	8	8	-	1		4			-	1		4	8	-	1	1		
5	1	1	1	-	1	5	1		1	-	1	5	1	1	1	-	1	
6	8	1	8	1	-	6		1		1	-	6		1		1	-	

Рис. 7. Вихідні матриці $M_{(X+)}$, $M_{(Y+)}$ та $M_{(Z+)}$ СО $S_2^0 = \{a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$

Процедура Pr₂ вибору базового елемента СО. Всі деталі $S_2^0 = \{a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$ мають вільні для доступу поверхні, а тому за показниками максимального об'єму простору, маси та кількості ЗЗН, в якості базового приймається елемент S_5^2 .

Процедура Pr₃ визначення ЗЗН, що належатимуть складальним одиницям нижчого рівня декомпозиції. СО S_2^0 містить 3 ЗЗН – $\{S_2^2 - S_5^2\}$, $\{S_4^2 - S_5^2\}$, $\{S_5^2 - S_6^2\}$. Оскільки до складу всіх ЗЗН входить БЕ, утворення СО нижчого рівня декомпозиції неможливе. Як наслідок, процедури **Pr₄**, **Pr₅** та **Pr₆** – не виконуються, а також, трансформовані матриці СО S_2^0 $M_{(T+)}^1 \equiv M_{(T+)}$.

Процедура Pr₇ руйнування ЗЗН. Для ЗЗН $\{S_2^2 - S_5^2\}$ та $\{S_5^2 - S_6^2\}$ вісь монтажу – вісь X, а для $\{S_4^2 - S_5^2\}$ – вісь Y. Напрямки монтажу визначаються за наявністю нульових рядків чи стовпчиків, після відповідної заміни „1” на „0” (рис. 8).

M_x	2	3	4	5	6	M_y	2	3	4	5	6	M_z	2	3	4	5	6	
2	-			0		2	-	1		1		2	-	1		1		
3	1	-	8	1		3	1	-			1	3	1	-	8	1	1	
4	8	8	-	1		4			-	0		4	8	-	1	1		
5	1	1	1	-	0	5	1		0	-	1	5	1	1	1	-	1	
6	8	1	8	1	-	6		1		1	-	6		1		1	-	

Рис. 8. Трансформовані матриці $M_{(X,Y)}^1$, $M_{(Y+)}^1$

та $M_{(Z+)}^1$ СО $S_2^0 = \{a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$ після руйнування ЗЗН

Процедура Pr₈ розкладання СО. Послідовність розкладання $S_2^0 = \{a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$ представлена на рис. 9.

M_x	3	5	M_y	3	5	M_z	3	5
	3	- 1		3	-		3	- 1
	5	1 -		5	-		5	1 -

Рис. 9. Матриці $M_{(X+)}^2$, $M_{(Y+)}^2$ та $M_{(Z+)}^2$ після видалення елементів S_2^2 , S_4^2 , S_6^2

Процедура Pr₉ формування послідовності складання СО. У відповідності до рис. 8 та 9, порядок складання S_2^0 має вигляд:

$$S_5^2 \wedge [S_3^2(Y\pm)] \wedge [S_2^2(X+) \vee S_4^2(Y\pm) \vee S_6^2(X-)] \quad (4)$$

Остаточний порядок складання виробу матиме вигляд:

Складальна одиниця S_0 :

1. $S_7^0 = \{a_7\}$.
2. $[S_1^0 = \{a_1\}, X+] \vee [S_8^0 = \{a_8\}, Y-] \vee [S_{10}^0 = \{a_{10}\}, Y-]$
3. $[S_2^0 = \{a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}, Y-] \vee [S_9^0 = \{a_9\}, Y+]$.

Складальна одиниця $S_2^0 = \{a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$:

1. $S_5^2 = \{a_5\}$.
2. $S_3^2 = \{a_3\}, Y \pm$.
3. $[S_2^2 = \{a_2\}, X+] \vee [S_4^2 = \{a_4\}, Y\pm] \vee [S_6^2 = \{a_6\}, X-]$.

Висновок

Представлена структура процесу автоматизованого синтезу доцільних порядків послідовно-паралельного складання виробів. Розкриті і проілюстровані прикладом основні процедури формалізованого прийняття проектних рішень. Розроблена методика реалізована програмно. Її висока результативність і ефективність підтверджена тестуванням програми на багатьох прикладах різноманітних конструкцій виробів

ЛІТЕРАТУРА:

1. Давигора В.М., Кореньков В.М. Формалізація процесу проектування послідовності складання виробів.
2. Давигора В.М. "Зворотний" синтез технологічно доцільних порядків послідовно-паралельного складання // Вісник ЖІТІ. – 2000. – № 12 / Технічні науки. – С. 100–111.
3. Давигора В.М, Пасічник В.А., Сімута Р.Р. Спосіб визначення взаємних обмежень рухливості деталей у складальній одиниці // Вісник технологічного університету Поділля. – 2000. – № 3 / Ч. 2. – С. 157–161.

ДАВИГОРА Вадим Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування Механіко-машинобудівного інституту Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

– удосконалення теорії автоматизованого проектування технології складання.

Тел.: (044) 263-37-22.

E-mail: mosk@health.kiev.ua

КОРЕНЬКОВ Володимир Миколайович – аспірант кафедри технології машинобудування Механіко-машинобудівного інституту Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

– удосконалення теорії автоматизованого проектування технології складання.

Тел.: (04494) 4-15-54.

E-mail: vnkorenkov@mail.ru