

В.А. Пасічник, д.т.н., проф.

Я.В. Свіщенко, магістрант

Національний технічний університет України „КПІ”

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ОПИСУ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ДЛЯ ЗАДАЧ СИНТЕЗУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ

Для всіх типів різьбових з'єднань, що відносяться до класу з'єднань, що забезпечують цілісність, наведено їхній формалізований опис у вигляді бінарних відношень обмежень рухливості. Це дозволяє формально виявляти значущі конструктивні особливості різьбових з'єднань та синтезувати на цій основі технологічні процеси складання.

Вступ. З усіх типів з'єднань, які реалізовані у складальному виробі (СВ) окрему групу утворюють з'єднання, що забезпечують цілісність (ЗЗЦ), що пояснюється кількома причинами. По-перше, реалізація ЗЗЦ завжди завершується, як складання СВ в цілому, так і його окремих складальних одиниць (СО) нижчого рівня. Тому саме ЗЗЦ, як було доведено в [1], і є основою для структурної декомпозиції СВ. По-друге, «руйнування» ЗЗЦ є першим кроком аналізу СВ для виявлення варіантів послідовностей розкладання з наступним інвертуванням у послідовності складання [2]. По-третє, у виробничому процесі складання, не завершивши складання створенням ЗЗЦ не можна переривати процес складання, оскільки така зупинка може призвести до неконтрольованого порушення цілісності та взаємного положення попередньо складених деталей. По-четверте, реалізація ЗЗЦ в процесі складання вимагає спеціалізованого технологічного обладнання, яке безпосередньо залежить від типу ЗЗЦ, в той час, як реалізація інших з'єднань (не ЗЗЦ) вимагає лише механічних маніпулювань з деталями, які залежать лише від геометрії і маси цих деталей. Саме тому формальний опис та автоматизована ідентифікація таких з'єднань є надзвичайно важливою задачею при створенні САПР технологічних процесів складання (ТПС) [3].

В [4] доведено, що всі ЗЗЦ за принципом дії розділяються на чотири групи: 1) ЗЗЦ, що утворюються геометричним замиканням; 2) ЗЗЦ, що утворюються за рахунок пружних деформацій; 3) ЗЗЦ, що утворюються за рахунок взаємодії полів; 4) ЗЗЦ, що утворюються за рахунок молекулярної взаємодії. Перша група за конструктивним виконанням є найбільшою. До неї відносяться різьбові, клепані, вальцьовані з'єднання, стопорні шайби з елементами, що відгинаються,

внутрішні і зовнішні стопорні кільця, заскочки. Найбільшу складність представляє формалізація опису та ідентифікація типу для різьбових з'єднань. Велике різноманіття [5] таких з'єднань створюють суттєві складнощі як на шляху їх аналізу так і на шляху синтезу ТПС для СВ, в яких присутні такі з'єднання.

До різьбових відносяться з'єднання, утворені болтами з гайками, гвинтами, шпильками, установочними гвинтами, анкерними болтами, різьбовими вставками та гвинтами-саморізами. Всі різьбові з'єднання відносяться до різних з'єднань, які, за винятком з'єднань гвинтами-саморізами, допускають розкладання при ремонті та обслуговування при повторному складанні.

Основна частина. Аналіз геометрії такого ЗЗЦ вказує на обов'язкову наявність принаймні однієї функціональної різьбової поверхні, яка забезпечує геометричне замикання. Така поверхня на кожній з деталей ЗЗЦ принаймні з одного боку повинна мати вихід, тобто ніякі інші елементи цієї деталі не повинні обмежувати переміщення іншої деталі. Аналіз поверхні, яка охоплює різьбову, яка часто є її відображенням в САД системі з метою спрощення геометрії, вказує на наявність області перетину між двома деталями, що входять до складу ЗЗЦ (рис. 1).

Перш за все будемо розрізняти різьбові ЗЗЦ та кінематичні пари «гвинт-гайка», які також утворюються за рахунок використання спеціальної геометрії (гвинтова спіраль). В першому випадку, в межах ЗЗЦ в складеному стані взаємне положення окремих деталей залишається незмінним, в другому – може змінюватись. Можливість взаємного переміщення деталей, що мають контактуючі різьбові поверхні є основною відмінністю кінематичної пари від ЗЗЦ.

Складання різьбового ЗЗЦ завжди відбувається за рахунок попереднього узгодженого переміщення та обертання однієї або кількох деталей, що утворюють таке ЗЗЦ, та остаточного прикладання крутильного моменту для створення натягу у з'єднанні. Різьбове ЗЗЦ може утворюватись парою деталей, коли натяг між деталями реалізується виключно за рахунок взаємодії цих двох деталей (рис. 2, *a*) або забезпечення цілісності відбувається ще й за рахунок інших деталей (рис. 2, *б*), коли відсутність цих проміжних деталей не дозволяє створити натяг в різьбі, переводячи тим самим ЗЗЦ в категорію кінематичної різьбової пари. Зустрічаються варіанти коли одна (рис. 2, *в*) або різні (рис. 5) різьбові поверхні однієї деталі утворюють ЗЗЦ одночасно з іншими деталями.

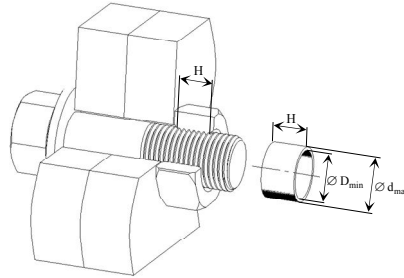


Рис. 1. Наявність області перетину між поверхнями, які охоплюють різьбову

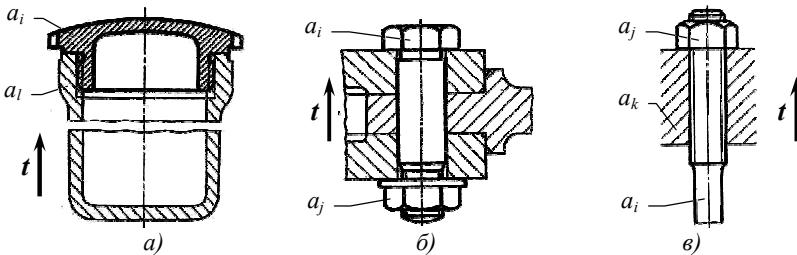


Рис. 2. Різновиди утворення різьбових з'єднань:
 а – між двома деталями; б – пакету деталей; в – трьома деталями

Оскільки в процесі реалізації різьбового ЗЗЦ потрібно мати узгоджене переміщення вздовж координатного напрямку t і обертання навколо нього в той чи інший бік, при створенні і аналізі бінарних відношень обмежень рухливості (БВОР) слід розглядати обидва типи відношень (поступальних і обертальних). Так для пар деталей, зображених на рисунку 2, а, б БВОР мають однаковий вигляд (рис. 3).

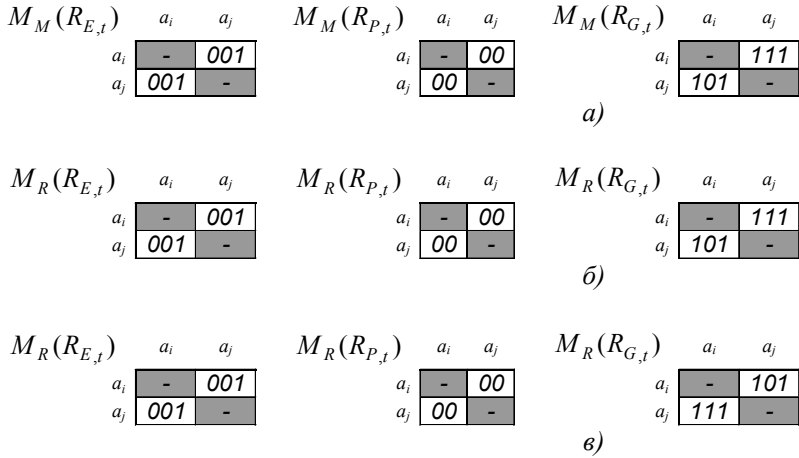


Рис. 3. БВОР для різбових з'єднань для рисунків 2, а, б:
 а – поступальні; б – обертальні для правої різьби;
 в – обертальні для лівої різьби

Відмінність у відношеннях $M_R(R_{G,t})$ (рис. 3, б, в) пояснюється тим, що навколо напрямку t ліва і права різьба забезпечують обмеження в обертанні в різних напрямках.

Розглядати різбові з'єднання, коли одна різбова поверхня взаємодіє з кількома іншими деталями (рис. 2, в), слід разом (рис. 4).

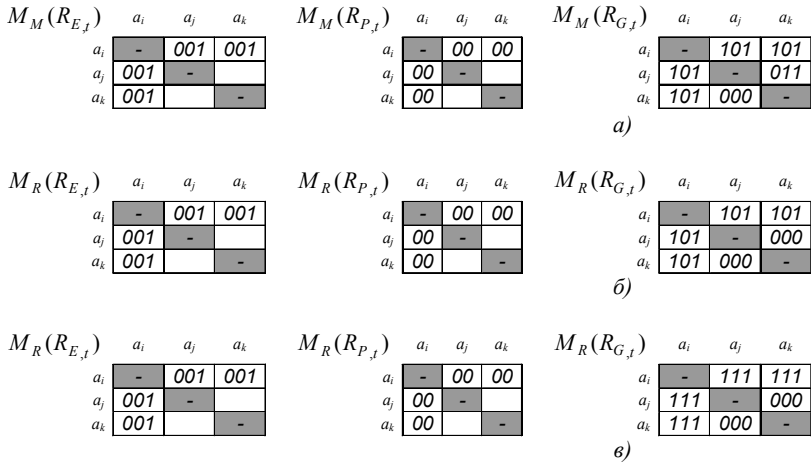


Рис. 4. БВОР для різьбових з'єднань, що утворюються трьома деталями: а – поступальні; б – обертальні, права різьба; в – обертальні, ліва різьба

Особливий випадок – утворення різьбового ЗЗЦ різними різьбовими поверхнями однієї деталі. Таким випадком слід вважати той, коли хоча б один параметр різьби є відмінним. Очевидним випадком є різні діаметри різьби однієї деталі, проте й різні напрямки (рис. 5) або різний крок різьби (рис. 6), навіть за умов однакового діаметру, дають підстави вважати ці різьби різними. Різниця конструктивного виконання ЗЗЦ має різне відображення у БВОР (рис. 7 і 8).

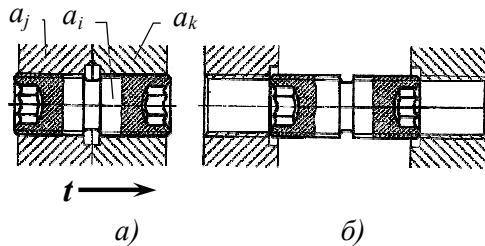


Рис. 5. Різьбові з'єднання із протилежним напрямком різьби: а – в зібраному стані; б – в розібраному стані

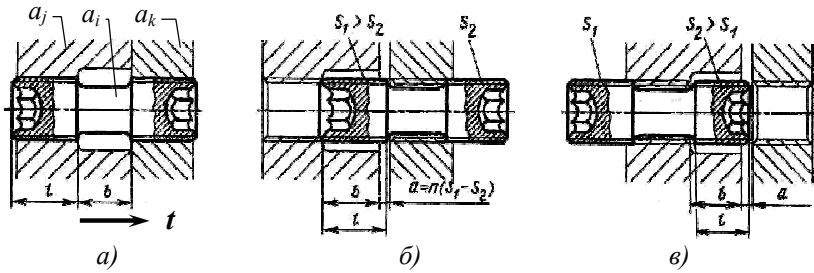
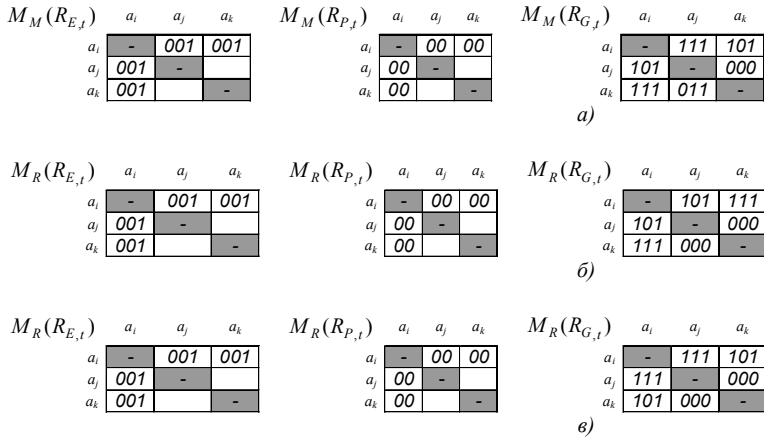


Рис. 6. Різьбові з'єднання із диференційною різьбою: а – в зібраному стані; б, в – у напіврозібраному стані

$M_M(R_{E,t})$	a_i a_j a_k	$M_M(R_{P,t})$	a_i a_j a_k	$M_M(R_{G,t})$	a_i a_j a_k
a_i	- 001 001	a_i	- 00 00	a_i	- 111 101
a_j	001 -	a_j	00 -	a_j	101 - 000
a_k	001 -	a_k	00 -	a_k	111 011 -
				а)	
$M_R(R_{E,t})$	a_i a_j a_k	$M_R(R_{P,t})$	a_i a_j a_k	$M_R(R_{G,t})$	a_i a_j a_k
a_i	- 001 001	a_i	- 00 00	a_i	- 101 111
a_j	001 -	a_j	00 -	a_j	101 - 000
a_k	001 -	a_k	00 -	a_k	111 000 -
				б)	
$M_R(R_{E,t})$	a_i a_j a_k	$M_R(R_{P,t})$	a_i a_j a_k	$M_R(R_{G,t})$	a_i a_j a_k
a_i	- 001 001	a_i	- 00 00	a_i	- 111 101
a_j	001 -	a_j	00 -	a_j	111 - 000
a_k	001 -	a_k	00 -	a_k	101 000 -
				в)	

Рис. 7. БВОР для різьбових з'єднань, із протилежним напрямком різьби: а – поступальні; б – обертальні для випадку правої різьби між a_i і a_j та лівої між a_i і a_k ; в – обертальні для випадку лівої різьби між a_i і a_j та правої між a_i і a_k



*Рис. 8. БВОР для різьбових з'єднань, із диференційною різьбою:
 а – поступальні; б – обертальні для випадку, коли крок різьби між a_i і a_j більше кроку між a_i і a_k; в – обертальні для випадку, коли крок різьби між a_i і a_j менше кроку між a_i і a_k*

Аналіз можливих варіантів різьбових з'єднань для випадку, коли ЗЗЦ утворюється двома деталями, дозволяє сформулювати умову для основної геометричної складової БВОР, якій такі з'єднання відповідають, а саме:

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j \right) : \left(M(R_{G,t}^{31})_{ij} = 1 \right). \quad (1)$$

Тобто, дві деталі що утворюють різьбове ЗЗЦ мають залежні початкові геометричні обмеження на переміщення і поворот.

Додаткові геометричні БВОР для опису різьби з урахуванням її напрямку запишемо умову 2 – для правої різьби і умову 3 – для лівої:

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j \right) : M_M(R_{G,t}^2)_{ij} = M_R(R_{G,t}^2)_{ij}; \quad (2)$$

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j \right) : M_M(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_R(R_{G,t}^2)_{ij}. \quad (3)$$

Тобто, для правої різьби узгоджені віртуальні переміщення і повороти повинні співпадати, а для лівої – бути протилежними.

Об'єднання умови (1) з умовами (2, 3) дозволяє отримати умову для різьбового з'єднання двох деталей: 4 – для правої та 5 – для лівої:

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j \right) : \left(M(R_{G,t}^{31})_{ij} = 1 \right) \wedge \left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} = M_R(R_{G,t}^2)_{ij} \right); \quad (4)$$

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j \right) : \left(M(R_{G,t}^{31})_{ij} = 1 \right) \wedge \left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_R(R_{G,t}^2)_{ij} \right). \quad (5)$$

Для випадку (рис. 2, в), коли одна деталь (a_i), утворює різьбове ЗЗЦ з двома іншими деталями $\langle a_j, a_k \rangle$, причому напрямок різьби є однаковим, умова такого з'єднання має вигляд:

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k \right) : \left(M(R_{G,t}^{31})_{ij} = 1 \right) \wedge \left(M(R_{G,t}^{31})_{ik} = 1 \right). \quad (6)$$

Тобто, деталь a_i , яка утворює з деталями a_j і a_k ЗЗЦ повинна одночасно мати залежні початкові геометричні обмеження на переміщення і поворот з цими деталями.

Для опису різьби з урахуванням її напрямку запишемо умову 7 – для правої різьби та умову 8 – для лівої різьби:

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k \right) : \left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} = M_M(R_{G,t}^2)_{ik} \right) = \left(M_R(R_{G,t}^2)_{ij} = M_R(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \quad (7)$$

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k \right) : \left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} = M_M(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \neq \left(M_R(R_{G,t}^2)_{ij} = M_R(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \quad (8)$$

Тобто, для двох пар для правої різьби узгоджені віртуальні переміщення і повороти повинні співпадати, а для лівої – бути протилежними.

Об'єднання умови (6) з умовами (7, 8) дозволяє отримати умову для різьбового з'єднання трьох деталей: 9 – для правої та 10 – для лівої:

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k \right) : \left(\left(M(R_{G,t}^{31})_{ij} = 1 \right) \wedge \left(M(R_{G,t}^{31})_{ik} = 1 \right) \right) \wedge \left(\left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} = M_M(R_{G,t}^2)_{ik} \right) = \left(M_R(R_{G,t}^2)_{ij} = M_R(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \right) \quad (9)$$

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k \right) : \left(\left(M(R_{G,t}^{31})_{ij} = 1 \right) \wedge \left(M(R_{G,t}^{31})_{ik} = 1 \right) \right) \wedge \left(\left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} = M_M(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \neq \left(M_R(R_{G,t}^2)_{ij} = M_R(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \right) \quad (10)$$

Для випадку (рис. 5), коли одна деталь (a_i), утворює різьбове ЗЗЦ з двома іншими деталями $\langle a_j, a_k \rangle$, причому напрямок різьби між деталями $\langle a_i, a_j \rangle$ є протилежним напрямку різьби між деталями $\langle a_i, a_k \rangle$, умова такого з'єднання має вигляд:

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k \right) : \left(M(R_{G,t}^{31})_{ij} = 1 \right) \wedge \left(M(R_{G,t}^{31})_{ik} = 1 \right). \quad (11)$$

Тобто, деталь a_i , яка утворює з деталями a_j і a_k ЗЗЦ повинна одночасно мати залежні початкові геометричні обмеження на переміщення і поворот з цими деталями.

Для опису різьби з урахуванням її напрямку запишемо умову 12 – для правої різьби між a_i і a_j та лівої між a_i і a_k та умову 13 – для лівої різьби між a_i і a_j та правої між a_i і a_k :

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k \right) : \left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_M(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \neq \left(M_R(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_R(R_{G,t}^2)_{ik} \right); \quad (12)$$

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k \right) : \left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_M(R_{G,t}^2)_{ik} \right) = \left(M_R(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_R(R_{G,t}^2)_{ik} \right). \quad (13)$$

Тобто, для лівої різьби між a_i і a_j та правої між a_i і a_k узгоджені віртуальні переміщення повинні бути протилежними поворотам, а для

правої різьби між a_i і a_j та лівої між a_i і a_k повинна бути подвійна інверсія.

Об'єднання умови (11) з умовами (12, 13) дозволяє отримати умову для різьбового з'єднання трьох деталей з протилежним напрямком різьби: 14 – для правої різьби між a_i і a_j та лівої між a_i і a_k та 15 – для лівої різьби між a_i і a_j та правої між a_i і a_k :

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k : \left(\left(M(R_{G,t}^{31})_{ij} = 1 \right) \wedge \left(M(R_{G,t}^{31})_{ik} = 1 \right) \right) \wedge \left(\left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_M(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \neq \left(M_R(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_R(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \right) \right) \quad (14)$$

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k : \left(\left(M(R_{G,t}^{31})_{ij} = 1 \right) \wedge \left(M(R_{G,t}^{31})_{ik} = 1 \right) \right) \wedge \left(\left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_M(R_{G,t}^2)_{ik} \right) = \left(M_R(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_R(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \right) \right) \quad (15)$$

Для випадку (рис. 6), коли одна деталь (a_i), утворює диференційне різьбове ЗЗЦ з двома іншими деталями $\langle a_j, a_k \rangle$, умова такого з'єднання має вигляд:

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k : \left(M(R_{G,t}^{31})_{ij} = 1 \right) \wedge \left(M(R_{G,t}^{31})_{ik} = 1 \right) \right). \quad (16)$$

Тобто, деталь a_i , яка утворює з деталями a_j і a_k ЗЗЦ повинна одночасно мати залежні початкові геометричні обмеження на переміщення і поворот з цими деталями.

Для опису різьби з урахуванням її напрямку запишемо умову 17 – для першого та умову 18 – для другого випадку:

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k : \left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_M(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \neq \left(M_R(R_{G,t}^2)_{ij} = M_R(R_{G,t}^2)_{ik} \right); \right) \quad (17)$$

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k : \left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_M(R_{G,t}^2)_{ik} \right) = \left(M_R(R_{G,t}^2)_{ij} = M_R(R_{G,t}^2)_{ik} \right). \right) \quad (18)$$

Для другого випадку узгоджені віртуальні переміщення пар деталей повинні бути протилежними, а обертання – однаковими і дорівнювати значенню переміщення між деталями a_i і a_j , а для першого випадку узгоджені віртуальні переміщення пар деталей повинні бути протилежними, а обертання – однаковими, і бути протилежними значенню переміщення між деталями a_i і a_j .

Об'єднання умови (16) з умовами (17, 18) дозволяє отримати умову для різьбового з'єднання трьох деталей з диференційною різьбою: 19 – для першого випадку та 20 – для другого:

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k : \left(\left(M(R_{G,t}^{31})_{ij} = 1 \right) \wedge \left(M(R_{G,t}^{31})_{ik} = 1 \right) \right) \wedge \left(\left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_M(R_{G,t}^2)_{ik} \right) = \left(M_R(R_{G,t}^2)_{ij} = M_R(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \right) \right) \quad (19)$$

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k : \left(\left(M(R_{G,t}^{31})_{ij} = 1 \right) \wedge \left(M(R_{G,t}^{31})_{ik} = 1 \right) \right) \wedge \left(\left(M_M(R_{G,t}^2)_{ij} \neq M_M(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \neq \left(M_R(R_{G,t}^2)_{ij} = M_R(R_{G,t}^2)_{ik} \right) \right) \right) \quad (20)$$

Всі різьбові ЗЗЦ повинні обов'язково відповідати фізичному принципу дії, що визначається умовою (21), та технологічному принципу реалізації, що визначається умовою (22), в якій перша частина визначає умову отримання натягу в різьбовому з'єднанні за рахунок силового впливу, в другий – за рахунок нагрівання.

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k \right) : (M(R_{P,t}) = 0); \quad (21)$$

$$\forall t \left(\exists_A a_i, a_j, a_k \right) : ((M(R_{E,t}^6) = 1) \vee (M(R_{E,t}^7) = 1)). \quad (22)$$

Висновки. Об'єднання технологічної складової БВОР (21) з фізичною складовою (22) та однією з геометричних складових (4, 5, 9, 10, 14, 15, 19, 20) дозволяє описати всі типи різьбових з'єднань. Урахування лінійних та обертальних ВОР дозволяє ідентифікувати не тільки сам факт наявності різьбового з'єднання, а й кількість деталей, що утворюють з'єднання, напрямок різьби (права, ліва), співвідношення кроків різьби (для диференційного з'єднання). Для випадків, коли деталь має декілька різьб на різних поверхнях, наприклад, різьби різного діаметра на валу, різьби на різних стінках корпусної деталі, вони відносяться до різних рівнів декомпозиції СВ і повинні розглядатись у взаємодії з деталями свого рівня.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Лапковский С.В.* Технологическая декомпозиция сборочных изделий : дис... канд. техн. наук : 05.02.08 / *С.В. Лапковский*. – К. : НТУУ «КПИ», 1998. – 192 с.
2. *Давыгора В.Н.* Теория формализованного синтеза исходного множества альтернатив доминирующих порядков последовательно-параллельной сборки / *В.Н. Давыгора, В.А. Пасечник* // Вестник НТУУ „КПИ”. Машиностроение. – 2000. – № 39. – С. 55–77.
3. *Пасічник В.А.* Автоматизоване формування математичної моделі складального виробу / *В.А. Пасічник, Р.Р. Сімута* // Вісник Технологічного університету Поділля. – Хмельницький, 2003. – № 4, Ч. 2 (53). – С. 236–242.
4. *Пасічник В.А.* Принципи формування математичної моделі складальної одиниці в виді бінарних відношень обмежень рухливості / *В.А. Пасічник, В.М. Кореньков* // Машиностроение и техносфера XXI века : сб. тр XV междунар. науч. техн. конф. : в 4-х т. – Донецк : ДонНТУ, 2008. – Т. 3. – С. 64–70.

5. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / *В.И. Анурьев.* – Т. 1. – М. : Машиностроение, 2001. – 920 с.

ПАСІЧНИК Віталій Анатолійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України „КП”.

Наукові інтереси:

- комп'ютерно-інтегровані технології механоскладального виробництва;
- дизайн технічних об'єктів та систем;
- технологія для верстатів з ЧПК.

E-mail: pasichnyk@ukr.net

СВІЩЕНКО Ярослав Володимирович – магістрант кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України „КП”.

Наукові інтереси:

- автоматизація проектування виробів та технологічних процесів, їх виготовлення і складання.

E-mail: itm@kpi.ua

Подано 24.05.2011