

UOT 621.7

RPI DƏZGAHLARINDA DETALLARIN HAZIRLANMASI ZAMANI TƏLƏB OLUNAN DƏQİQLİYİN TƏMİN EDİLMƏSİ MƏRHƏLƏLƏRİ

Yusubov N.D., Xankişiyev İ.A., Cabbarov R.C., Şəmilzadə E.V.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: Nizami_Yusubov@mail.ru

Xülasə. Məqalədə RPI dəzgahlarında mürəkkəb profilli maşın hissələrinin kontur emalının həm idarəetmə proqramının işlənmə mərhələsində, həm də əməliyyatın yerinə yetirilməsi zamanı formaəmələgətirmə prosesinin və kəsmə rejimlərinin idarəedilməsi yolu ilə səmərəliliyini artırmaq məqsədilə tələb olunan dəqiqliyin təmin edilməsi mərhələləri araşdırılmışdır. Bu zaman RPI dəzgahlarında emalın sapmalarının meydana gəlməsi və məhsuldarlığının aşağı düşməsinə səbəb olan amillərin müəyyən edilməsi, səthlərin yerləşdirmə, texnoloji sistemin statik və dinamik sazlanması mərhələlərində baş verən sapmalarının yaranma mexanikasının öyrənilməsinə xüsusi diqqət yetirilmişdir. Nəticədə, proqram-texnoloji həlləri müəyyənləşdirmək və həm idarəetmə proqramlarının işlənməsi mərhələsində, həm də adaptiv idarəetmə sistemləri də daxil olmaqla korreksiyaedici sistemlər tətbiq etməklə mürəkkəb həndəsəli gəmi detallarının konturlarının emalının dəqiqliyinə və məhsuldarlığına nail olunması prosesini idarə etməyə imkan verən tövsiyələrin işlənməsi üçün nəzəri baza yaradılmışdır.

Abstract. The article discusses the stages of achieving the required accuracy in order to improve the efficiency of contouring of complex shaped machine parts on CNC machines by controlling the shaping process and cutting modes, both at the stage of developing the control program and during the operation. At the same time, special attention was paid to identifying the factors that determine the causes of the formation of deviations and the loss of processing productivity, the study of the mechanics of the formation of surface deviations arising at the installation stages, static and dynamic adjustment of the technological system on CNC machines. As a result, a theoretical basis was created for defining software and technological solutions and developing recommendations for managing the process of achieving accuracy and productivity of complex geometric parts of vessel, both at the stage of developing control programs and in the cutting process by applying corrective correction systems, including adaptive control systems.

Аннотация. В статье рассматриваются этапы достижения требуемой точности с целью повышения эффективности контурной обработки сложных профильных деталей машин на станках с ЧПУ путем управления процессом формообразования и режимами резания, как на этапе разработки управляющей программы, так и в процессе выполнения операции. При этом особое внимание было уделено выявлению факторов, определяющих причины формирования отклонений и потери производительности обработки, изучению механики формирования отклонений поверхностей, возникающих на этапах установки, статической и динамической настройки технологической системы на станках с ЧПУ. В результате была создана теоретическая основа для определения программно-технологических решений и разработки рекомендаций, создающих возможность управления процессом достижения точности и производительности обработки сложных геометрических контуров деталей судна, как на этапе разработки управляющих программ, так и с применением корректирующих систем, включая адаптивные системы управления.

Açar sözlər: çoxməqsədli RPI dəzgahları, emal dəqiqliyi, yerləşdirmə xətası, statik sazlama, dinamik sazlama, ümumi emal xətası

Key words: *multi-purpose CNC machines, machining accuracy, placement error, static adjustment, dynamic adjustment, total machining error*

Ключевые слова: *многоцелевые станки с ЧПУ, точность обработки, погрешность установки, статическая настройка, динамическая настройка, суммарная погрешность обработки*

Giriş. Məmulların keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq və metal həcmi azaltmaq meyli ilə müasir texnologiyaların inkişafı bahalı RPİ çoxməqsədli dəzgahlarında və RPİ dəzgahlarında hazırlanan mürəkkəb həndəsi formalı maşın hissələri tərkibini və sayını genişləndirir. Buna görə də, belə avadanlıqların istifadəsinin səmərəliliyini artırmaq problemi aktualdır [1-16]. Mürəkkəb həndəsəli çox elementli hissələrin - aerokosmik texnologiyanın yanacaq və hidravlik sistemlərinin gövdələri, ştamp və press-formaların örtükləri, şablonlar, yumruqlar, turbin kürəklərinin və başqalarının RPİ dəzgahlarında istehsalı mürəkkəb texnoloji məsələni təşkil edir. Pəstahın giriş parametrləri (emal payı, bərklik, sərtlik) və alət (yeyilmə, kütləşmə) giriş parametrləri həm hissədən hissəyə, həm də eyni hissə daxilində dəyişir [8-16]. Bu parametrlər əksər hallarda təsadüfi olur, bu zaman proqramlaşdırılma zamanı yalnız bu amillərin sistemli komponentlərinin nəzərə alınması heç də asan deyildir. Bütün bu məsələlər mürəkkəb həndəsəyə malik hissələri aşağı sərtliyi olan barmaq (uc) frezləri ilə emal edərkən və ya sərt olmayan pəstahları emal edərkən daha da ağırlaşır.

Kontur emalı zamanı trayektoriyanın və kəsmə rejimlərinin proqramlaşdırılması qonşu bitişik səthlərin birləşmə bucaqlarının, dərinliklərin dəyişikliklərinin, frezləmə enininin və emal olunan səth ilə frezin kontakt bucağının nəzərə alınmasının mürəkkəb olduğuna görə çətindir. Bir neçə təmiz gedişləri yerinə yetirən zaman elastik deformasiyaların təsirini azaltmaqla tələb olunan emal dəqiqliyinə nail olmaq dəzgahın məhsuldarlığını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Əgər universal dəzgahda işçi emal payının, frezləmə eninin, alətin kütləşmə dərəcəsi və pəstah ilə onun kontakt bucağının nəzərə ala bilirsə, RPİ dəzgahında operatorun belə bir imkana yoxdur.

Konturun qonşu bitişik səthlərin birləşmə bucaqlarının çatdırma emalı lazım olduqda məhsuldarlıqda əhəmiyyətli bir itki baş verir. Bəzi hallarda bu işləri RPİ dəzgahlarında deyil, adi universal frez dəzgahlarında yerinə yetirmək lazım gəlir. Beləliklə, RPİ dəzgahlarında istehsal olunan mürəkkəb profilli hissələrin formalaşması prosesi üçün effektiv proqram və texnoloji təminatın yaradılması məsələsi aktualdır və həm elmi, həm də praktik əhəmiyyətə malikdir.

Məsələnin qoyuluşu. Aparılan işin məqsədi RPİ dəzgahlarında mürəkkəb profilli maşın hissələrinin kontur emalının həm idarəetmə proqramının işlənmə mərhələsində, həm də əməliyyatın yerinə yetirilməsi zamanı formaəmələgətirmə prosesinin və kəsmə rejimlərinin idarəedilməsi yolu ilə səmərəliliyini artırmaqdır.

Verilmiş dəqiqliyə nail olmaq üçün detal texnoloji sistemin – dəzgah, tərtibat, alət, pəstahın kinematik və ölçü zəncirlərinə daxil edilir. Detalda əldə olunan ölçülər - xətti və bucaq (səthlərin nisbi dönmələri) ölçüləri dəzgahın müvafiq texnoloji ölçü zəncirlərinin qapayıcı bəndləridir [1,2].

Dəzgahlarda xətti ölçülərin tələb olunan dəqiqliyi, bir qayda olaraq, tənzimləmə üsulu ilə əldə edilir. Bu məqsədlə dəzgahların konstruksiyalarında kompensator - bəndlər, məsələn stolların, karretkaların və ya konsolların hərəkəti üçün vintlər, tərtibatların konstruksiyalarında isə tənzimlənən dayaqqlar nəzərdə tutulur.

Beləliklə, emal olunan hissələrin xətti ölçülərinin verilmiş dəqiqliyini dəzgahlarda ölçmə sistemlərinin – xətkəşlərin, limblərin, indikatorların və s. köməyi ilə təmin etmək nisbətən asandır. Bucaq ölçülərinin dəqiqliyini təmin etmək üçün isə fərqli sxemdən istifadə olunur. Nisbi dönmələrin dəqiqliyinin əldə edilməsini dəzgah qovşaqlarının həndəsi dəqiqliyi – onun yönəldicilərinin dəqiqliyi müəyyənləşdirir. Bu vəziyyətdə tənzimləmələr etmək imkanı praktik olaraq yoxdur. Bu hal, ilk növbədə, bucaq ölçülərinin dəqiqliyini əldə etmək üçün texnoloji bazaları müəyyənləşdirməyi və sonra xətti ölçülərin dəqiqliyini əldə etmək üçün bazaları seçməyi zəruri edir.

Dəzgahlarda hazırlanan detalların dəqiqliyinin əldə edilməsi üç mərhələnin yerinə yetirilməsini tələb edir:

- pəstahın və tərtibatın yerləşdirilməsi mərhələsini;
- sistemin statik sazlanması mərhələsini;
- texnoloji sistemin dinamik sazlanması mərhələsini.

Birinci mərhələnin yerinə yetirilməsi zamanı detal (pəstah) dəzgahın kinematik və ölçülü zəncirlərinə daxil edilir və bərkidilir. Bu zaman A_y yerləşdirmə ölçüsü ω_y xətasına malik olur.

İkinci mərhələnin yerinə yetirilməsi zamanı dəzgahın icra orqanları funksional yüklənmə olmadan, alətin kəsici tilləri hissənin bazalarına nisbətən və ya dəzgahın işçi səthlərinə nisbətən statik sazlaşmanın tələb olunan A_s ölçüsünün aldığı vəziyyətdə müəyyən edilir. Bu mərhələdə meydana gələn sapmalar ω_s statik sazlaşma xətasını doğurur.

Üçüncü mərhələdə dinamik sazlaşma - yəni kəsmə qüvvəsinin, elastik və istilik deformasiyalarının, həmçinin vibrasiya və alətin yeyilməsi ilə kəsmə prosesi baş verir. Bu zaman pəstahın və alətin göstərilən mövqedən kənarlaşması (sürüşməsi, yerdəyişməsi) həyata keçir, burada A_d dinamik sazlaşma ölçüsü formalaşır. A_d dinamik sazlaşma ölçüsünün dəyişməsi ölçünün ω_d dinamik sazlaşma xətasını doğurur. Nəticədə, emaldan sonra detalda əmələ gələn A_Δ ölçüsü baxılan ölçülərin cəbri cəmi kimi təyin edilir:

$$A_\Delta = A_y + A_s + A_d \quad (1)$$

Dəzgahın qapayıcı bəndinin xətası texnoloji zəncirin bəndlərində meydana gələn sapmalar (ölçünün meylli) nəticəsində yaranır. Burada bir məsələyə xüsusi diqqət vermək lazımdır: qapayıcı bənddə bir məmul üçün xətanın meydana gəlməsinə və bir qrup məmul üçün xətanın meydana gəlməsinə.

Birinci variantda bir zəncirin reallaşması baş verir. Bu zaman bənddə müəyyən bir Δ_i sapması meydana gəlir. Nəticədə qapayıcı bənddə Δ_Δ xətası formalaşır. Bu xətanın qiyməti bəndin işarəsini (yəni onun xarakterini) nəzərə alınmaqla bəndlərin hər birindəki Δ_i sapmaların cəbri cəmi təşkil edir:

$$\Delta_\Delta = \sum_{i=1}^{i=k} \vec{\Delta}_i - \sum_{i=k+1}^{i=m-1} \vec{\Delta}_i \quad (2)$$

Bir qrup məmul üçün ω_Δ xətanın meydana gəlməsi variantında ölçü zənciri bir neçə dəfə reallaşdırılır. Buna görə də bəndlərdəki Δ_i sapmalar yuxarı Δ_i^y yuxarı hədd qiymətindən Δ_i^a aşağı hədd qiymətinə qədər dəyişə bilər. Təşkiledici bəndin ω_i xətası ω_i səpələnmə sahəsini müəyyən edir və aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\omega_i = \Delta_i^y - \Delta_i^a$$

Beləliklə, bir dəstə məmul üçün qapayıcı bəndin xətası, ümumiyyətlə, sistemin bəndlərində yaranan sapmaların səpələnmə sahələrinin cəmi kimi hesablanan səpələnmə sahəsidir:

$$\omega_\Delta = \sum_i^{i=m-1} \omega_i, \quad (3)$$

burada m – texnoloji zəncirin bəndlərinin sayıdır.

Ümumiyyətlə, təşkiledici bəndlərin müxtəlif təsirini nəzərə almaq üçün (3) ifadəsi aşağıdakı formada yazılmalıdır:

$$\omega_{\Delta} = \sum_{i=1}^{i=m-1} \xi_i \cdot \omega_1, \quad (4)$$

burada ξ_i – bəndin ötürmə nisbətidir.

ξ_i ötürmə nisbətləri xüsusi törəmələrdən ibarət olur.:

$$\xi_1 = \frac{\partial A_{\Delta}}{\partial A_1}; \xi_2 = \frac{\partial A_{\Delta}}{\partial A_2}; \dots \dots \dots \dots \dots, \xi_{m-1} = \frac{\partial A_{\Delta}}{\partial A_{m-1}}$$

Yuxarıda göstərilənlərə uyğun olaraq bir detal üçün Δ_{Δ} sapmasını dəqiqliyin təmin edilməsi mərhələlərində yaranan sapmaların cəbri cəmlənməsi ilə tapmaq olar:

$$\Delta_{\Delta} = \Delta_y + \Delta_s + \Delta_d, \quad (5)$$

bir qrup hazırlanan məmul üçün ölçü xətasını isə səpələnmə sahələrinin cəmi kimi tapmaq olar:

$$\omega_{\Delta} = \omega_y + \omega_s + \omega, \quad (6)$$

Bu zaman məmulun əldə edilmiş keyfiyyət xarakteristikasının Δ_{Σ} ümumi sapması, məsələn, detailın ölçüsünün, dönmə və ya hündəsi formasının nominaldan sapması bu anda müxtəlif amillərin təsiri nəticəsində sapmaların cəbri və ya vektor cəmlənməsi ilə formalaşır:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{sab} + \Delta_{sis} + \Delta_{tas}, \quad (7)$$

burada Δ_{sab} – daimi (sabit) amillərin təsirindən yaranan sapmalar;

Δ_{sis} - dəyişiklikləri müəyyən bir qanuna görə baş verən sistemə amillərin təsirindən yaranan sapmalar;

Δ_{tas} - təsadüfi amillərin ümumi təsiri nəticəsində yaranan sapmalar.

$k - ci$ detaildan $l - ci$ detala qədər bir dəst detalların emalının yerinə yetirildiyi müəyyən bir $(t_1; t_2)$ müddəti ərzində məmulun baxılan keyfiyyət parametrinin Δ_{Σ}^y ən böyük sapması toplama yolu ilə hesablanır:

$$\Delta_{\Sigma}^y = \Delta_{sab}(t_1) + \omega_{sis}(t_2) + 0,5 \cdot \omega_{tas}(t_2),$$

burada $\Delta_{sab}(t_1)$ – emalın t_1 başlanma anında sistemə amillərin təsiri nəticəsində yaranan xəta;

$\omega_{sis}(t_2)$ - emalın t_2 son anında sistemə dəyişən amillərin təsiri nəticəsində yaranan xəta;

$\omega_{tas}(t_2)$ – emal t_2 son anında təsadüfi amillərin birgə təsiri nəticəsində yaranan ani səpələnmə sahəsidir.

Bir dəst detal istehsal etmək üçün məmulun tədqiq olunan dəqiqlik parametrinin $(t_1; t_2)$ müddəti üçün ən kiçik sapmasını belə hesablamaq olar:

$$\Delta_{\Sigma}^y = \Delta_{sab}(t_1) + \omega_{sis}(t_1) - 0,5 \cdot \omega_{tas}(t_1),$$

burada $\omega_{sis}(t_1)$ - emalın t_1 başlanma anında sistemə amillərin təsiri nəticəsində yaranan xəta;

$\omega_{tas}(t_1)$ – emalın t_1 başlanma anında təsadüfi amillərin birgə təsiri nəticəsində yaranan ani səpələnmə sahəsidir.

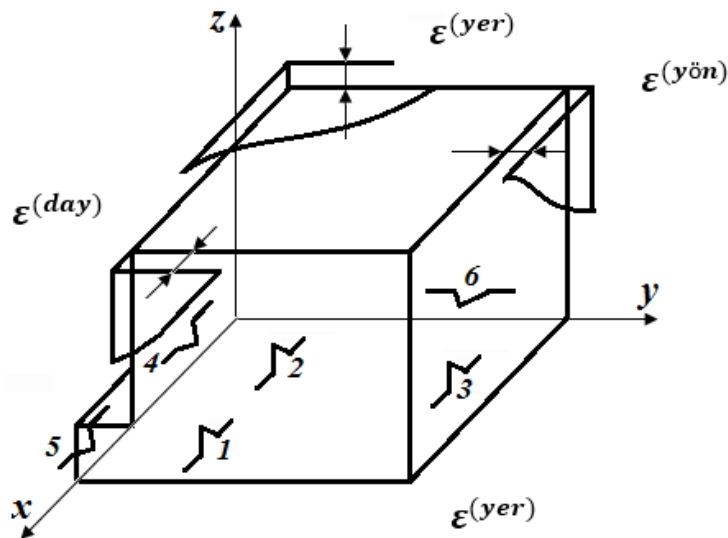
Ümumi halda yerləşdirmə xətası emal olunan detailın texnoloji bazalarının dəzgahın və ya

tərtibatın icraedici səthlərinin (x, y, z) koordinat sistemlərinə nisbətən (X, Y, Z) vəziyyətini xarakterizə edən ω_y vektorudur [3].

$$\omega_y = (a_y, b_y, c_y, \lambda_y, \beta_y, \gamma_y) , \quad (8)$$

burada a_y, b_y, c_y - xətti yerdəyişmə və $\lambda_y, \beta_y, \gamma_y$ – dönmə bucaq təşkilediciləridir.

Alınmış nəticələrin analizi. Yerləşdirmə ölçülərinin bazaların normalları üzrə (şəkil 1) formalaşan $\varepsilon_x^{(yön)}, \varepsilon_y^{(yer)}, \varepsilon_z^{(day)}$ sapmaları (səthlərinin vəziyyətlərinin sapmaları) yerinə yetirilən yerləşdirmə xətasını özündə ehtiva edir. Bu sapmalar ω_y vektorunun parametrlərindən və baxılan səthin detalın bazalarına nisbətən vəziyyətinin x, y, z koordinatlarından asılıdır.



Şəkil 1. Üç müstəvi üzrə bazalaşdırma zamanı yerləşdirmə ölçüsünün sapmasının formalaşması sxemi

Baxılan bazalaşdırma sxemi üçün $\varepsilon_x^{(yön)}, \varepsilon_y^{(yer)}, \varepsilon_z^{(day)}$ sapmaları matris düsturu ilə hesablanır:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x^{(day)} \\ \varepsilon_y^{(yön)} \\ \varepsilon_z^{(day)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_y^{(day)} \\ b_y^{(yön)} \\ c_y^{(yer)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & z & y \\ z & 0 & x \\ y & x & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda_y^{(yer)} \\ \beta_y^{(yer)} \\ \gamma_y^{(yön)} \end{bmatrix}$$

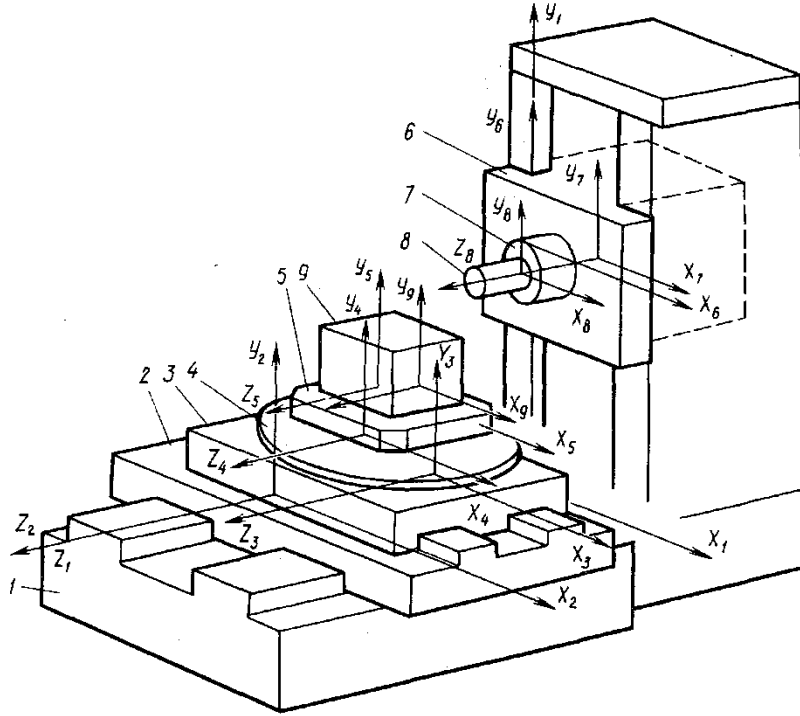
ω_y vektorunun təşkiledicilərində işarələnmə yerləşdirmə xətasının parametrlərinin formalaşdığı bazanı göstərir: (yer) - yerləşdirmə; (yön) – yönəldici; (day) – dayaq.

Dəzgahın fəza texnoloji ölçülü zəncirlərinin müəyyənləşdirməsi məsələsi onun qovşaqları və detallarının koordinat sistemləri arasındakı ölçü əlaqələrini müəyyənləşdirməkdən ibarətdir. Şəkil 2-də çoxməqsədli frez-işyonuş dəzgahının hissələri və qovşaqlarının koordinat sistemləri göstərilmişdir. Dəzgahın yönəldiciləri üzərində qurulmuş koordinat müstəviləri dəzgahın baş (əsas) $O_1X_1Y_1Z_1$ koordinat sistemini təşkil edir. Bu koordinat sistemə nəzərən texnoloji sistemin digər qovşaqlarının $(i = 1 \dots 9)$ və detallarının $O_iX_iY_iZ_i$ koordinat sistemləri bazalaşdırma ardıcılığı üzrə yerləşir.

Fəza ölçü zəncirlərinin təşkilədi bəndləri k_i vektorlardır ki, bunların da hər biri müvafiq olaraq köməkçi bazaların və ya dəzgahın müəyyən detal və ya qovşaqlarının icraedici səthlərinin $(oxyz)_i$ koordinat sistemlərinin vəziyyətlərini onun $(OXYZ)_i$ əsas bazalarına nisbətən təyin edir.

Beləliklə, fəza təşkilədi bəndlər aşağıdakı kimi göstərilə bilər:

nominal üzrə:
$$k_i = (A_i, B_i, C_i, \lambda_i, \beta_i, \gamma_i) \quad (9)$$



Şəkil 2. Çoxməqsədli dəzgahın qovşaqlarının və detalların koordinat sistemləri [3]:
 1-dəzgahın çatısı; 2 – uzununa stol; 3 – eninə stol; 4 – dönmə stol; 5 – sputnik; 6 – şpindel aşığı;
 7 – dəzgahın şpindeli; 8 – kəsici alət; 9 – emal olunan pəstah

sapmalar üzrə: Δ_{ki}^Y yuxarı sapma - $\Delta_{ki}^Y = (\Delta_{Ai}^Y, \Delta_{Bi}^Y, \Delta_{Ci}^Y, \Delta_{\lambda i}^Y, \Delta_{\beta i}^Y, \Delta_{\gamma i}^Y)$,

Δ_{ki}^A aşağı sapma - $\Delta_{ki}^A = (\Delta_{Ai}^A, \Delta_{Bi}^A, \Delta_{Ci}^A, \Delta_{\lambda i}^A, \Delta_{\beta i}^A, \Delta_{\gamma i}^A)$,

müsaidələr üzrə:

$$T_{ki} = \Delta_{ki}^Y - \Delta_{ki}^A \quad (10)$$

$$T_{ki} = (T_{Ai}, T_{Bi}, T_{Ci}, T_{\lambda i}, T_{\beta i}, T_{\gamma i}) \quad (11)$$

Texnoloji ölçü zəncirinin qapayıcı bəndi k_Δ vektorudur. Bu vektor detalın alınan səthinin və onunla bağlı olan $oxyz$ koordinat sisteminin onun texnoloji bazalarına nisbətən $(OXYZ)$ sistemə nisbətən vəziyyətlərini xarakterizə edir.

$$k_\Delta = (A_\Delta, B_\Delta, C_\Delta, \lambda_\Delta, \beta_\Delta, \gamma_\Delta). \quad (12)$$

k_Δ vektorunun elementləri detalın A, B, C xətti ölçülərini X, Y, Z oxları istiqamətində və onların səthlərinin üç koordinat müstəvisində λ, β, γ nisbi dönmələrini təyin edən altı müstəvi ölçü zən-

cirinin qapayıcı bəndlərini təmsil edir. Bu zəncirlərin təşkiləddici bəndləri detalın xətti və bucaq ölçülərinin alınmasını müəyyənləşdirən dəzgah detallarının və alətin ölçüləri və nisbi dönmələridir [4].

$k_1, k_2, k_3, \dots, k_i, \dots, k_n$ matrislər dəsti bloklarının sayı texnoloji zəncirin n bəndlərinin sayına uyğun olan texnoloji sistemin $K = |k_i|$ blok matrisini meydana gətirir.

Qovşaqların və detalların dəzgahın baş koordinat sistemində vəziyyətlərini matris düsturu üzrə hesablamaq olar:

$$D = H \cdot K, \quad (13)$$

Bu düsturu açıq şəkildə belə yazmaq olar:

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \\ D_7 \\ D_8 \\ D_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & & & & & & & & 0 \\ H_{21} & H_{22} & & & & & & & \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} & & & & & & \\ H_{41} & H_{42} & H_{43} & H_{44} & & & & & \\ H_{51} & H_{52} & H_{53} & H_{54} & H_{55} & & & & \\ H_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & H_{66} & & & \\ H_{71} & 0 & 0 & 0 & 0 & H_{76} & H_{77} & & \\ H_{81} & 0 & 0 & 0 & 0 & H_{86} & H_{87} & H_{88} & \\ H_{91} & H_{92} & H_{93} & H_{94} & H_{95} & 0 & 0 & 0 & H_{99} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \\ k_5 \\ k_6 \\ k_7 \\ k_8 \\ k_9 \end{bmatrix}$$

Burada,

Çatı	D_1
Karetka	D_2
Stol	D_3
Dönən stol	D_4
Sputnik	D_5
Şpindel aşığı	D_6
Şpindel	D_7
Alət	D_8
Detal	D_9

H - elementləri H_{ij} blok çevrilmə matrisləri olan qovşaq və hissələrin $O_i X_i Y_i Z_i$ koordinat sistemlərinin dəzgahın $O_1 X_1 Y_1 Z_1$ əsas koordinat sistemində gətirilməsini təmin edən operator matrisidir.

Qovşaq və hissələrin bazalaşdırma ardıcılığının təhlili göstərir ki, sputnikin pəstah ilə mövqeyi bir bəndlər qrupu tərəfindən müəyyən edilir:

$$i = 1, 2, \dots, d, (d = 5),$$

Kəsici alətin mövqeyi isə başqa bir bəndlər qrupu tərəfindən müəyyən edilir:

$$i = 6, \dots, p, (p = 8).$$

Beləliklə, (13) ifadəsinin hər bir sətri müəyyən bir bəndin mövqeyini (vəziyyətini) xarakterizə edən əmələ gətirici vektorların cəmidir. Məsələn, kəsici alətin (barmaq frezinin) işçi

səthlərinin vəziyyəti aşağıdakı ifadə ilə müəyyən edilir:

$$D_8 = H_{81}k_1 + H_{86}k_6 + H_{87}k_7 + H_{88}k_8,$$

Emal olunan detalın vəziyyəti isə belə hesablanır:

$$D_9 = H_{91}k_1 + H_{92}k_2 + H_{93}k_3 + H_{94}k_4 + H_{95}k_5 + H_{96}k_6,$$

Əgər i bəndlərindən birinin mövqeyini digər bir j bəndə nəzərən vəziyyətini müəyyən etmək lazımdırsa, onda iki vektorun fərqi götürmək lazımdır:

$$D_{ij} = D_i - D_j.$$

Detailın texnoloji bazalarının koordinat sisteminə nisbətən kəsən alətin işçi səthlərinin koordinat sisteminin vəziyyətini təyin edən statik tənzimləmə vektoru D_9 və D_8 vektorları arasındakı fərq kimi hesablanır:

$$k_s = D_9 - D_8, \quad k_s = (A_s, B_s, C_s, \lambda_s, \beta_s, \gamma_s), \quad (14)$$

burada A_s, B_s, C_s – kəsici alətin işçi səthlərinin $X_a Y_a Z_a$ koordinat sisteminin detailın $X_d Y_d Z_d$ bazalarına nisbətən vəziyyətini xarakterizə edən xətti koordinatlar;

$\lambda_s, \beta_s, \gamma_s$ – $X_a Y_a Z_a$ koordinat sisteminin $X_d Y_d Z_d$ sisteminə nəzərən dönməsini xarakterizə edən bucaq parametrləridir.

Qapayıcı bənddə statik sazlaşmanın sapması həm emal olunan detailın $\Delta k_s^{(d)}$ faktiki vəziyyətindən, həm də kəsici alətin $\Delta k_s^{(a)}$ faktiki vəziyyəti və nisbi hərəkətindən asılıdır:

$$\Delta k_s = \Delta k_s^{(a)} + \Delta k_s^{(d)}.$$

Göstərilən $\Delta k_s^{(a)}, \Delta k_s^{(d)}$ vektorlarının statik sazlaşma dəqiqliyinə təsiri yerləşdirmə növündən və dəzgahın idarəetmə proqramında verilən forma əmələ gətirmə hərəkətlərindən asılıdır.

Dəqiqliyinin təmin edilməsinin üç mərhələsini nəzərə almaqla dəzgahın fəza texnoloji ölçü zəncirinin qapayıcı bəndi yerləşdirmə $k_y = \omega_y$, dəzgahın k_s statik və k_d dinamik sazlanması mərhələlərində formalaşan ümumi sapmanı müəyyən edən $k_\Delta = k_y + k_s + k_d$ vektorudur.

Nəticə. RPİ dəzgahlarında səthlərin yerləşdirmə, texnoloji sistemin statik və dinamik sazlanması mərhələlərində baş verən sapmaların yaranma mexanikasının bazası müəyyən edilmişdir. Nəticədə, proqram-texnoloji həlləri müəyyənləşdirmək və həm idarəetmə proqramlarının işlənməsi mərhələsində, həm də adaptiv idarəetmə sistemləri də daxil olmaqla korreksiyaedici sistemlər tətbiq etməklə mürəkkəb həndəsəli gəmi detallarının konturlarının emalının dəqiqliyinə və məhsuldarlığına nail olunması prosesini idarə etməyə imkan verən tövsiyələrin işlənməsi üçün nəzəri baza yaradılmışdır.

Ədəbiyyat

1. Балакшин, Б.С. Теория и практика технологии машиностроения/ Б.С. Балакшин. -М.: Машиностроение, -1982. Кн. 1, -288 с., Кн. 2, -268 с.
2. Основы технологии машиностроения: курс лекций / В. В. Морозов [и др.]; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. -Владимир: Изд-во ВлГУ, -2016. -200 с.
3. Проектирование технологии / Баранчукова И.М., Гусев А.А., Краморенко Ю.Б. [и др.]/ Под общей редакцией Соломенцева Ю.М. Учебник для машиностроительных спе-

- циальностей вузов. -М.: Машиностроение, -1990. -415 с.
4. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения: /Под общей ред. Ю.М. Соломенцева. -М.: Высшая школа, -1999. -416 с.
 5. Юсубов, Н.Д. Алгоритмизация аналитической модели полей рассеяния размеров, выполняемых в многоинструментных многосуппортных наладках // Вестник машиностроения, -2008. № 2. -с. 54-56.
 6. Юсубов, Н.Д. Матричные модели точности обработки в одноинструментной токарной обработке // Технология машиностроения, -2009 г. № 1, -с. 41-45.
 7. Yusubov, N.D. Matrix Models of the Accuracy in Multitool Two-Support Setup/ Russian Engineering Research 29, -2009. 3, -p. 268-271.
 8. Юсубов, Н.Д. Многоинструментная обработка на многоцелевых станках с ЧПУ / Н.Д. Юсубов, Г.М. Багирова// Машиноведение, -2012. № 1, -с. 57-62.
 9. Кошин, А.А. Элементы матричной теории точности многоинструментной обработки в пространственных наладках/ А.А. Кошин, Н.Д. Юсубов //Вестник машиностроения, -2013. №9, -с. 13–17.
 10. Юсубов, Н.Д. Основы матричной теории точности многоинструментной токарной обработки (Принципы и структура теории, проектирования и управления процессами многоинструментной обработки). Саарбрюккен, Германия: Omni-Scriptum GmbH & Co. KG / LAP LAM-BERT Academic Publishing, -2013. -216 с.
 11. Юсубов, Н.Д. Многоинструментная обработка на станках - автоматах токарной группы (Матричная теория точности многоинструментной обработки на современных станках с ЧПУ токарной группы). Саарбрюккен, Германия: AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG / LAP LAMBERT Academic Publishing, -2013. -256 с.
 12. Yusubov, N.D. Full factorial matrix models of fields of dispersion of the carried out sizes in multi-tool two-carriage adjustments / N.D. Yusubov, H.M. Abbasova// Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg, Campus Senftenberg, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik, 1.Ingenieurtag 2014 am 19.11.2014. BTU.Cottbus-Senftenberg. 4s.
 13. Ozturk, E. Tuning of tool dynamics for increased stability of parallel (simultaneous) turning processes / E. Ozturk, A. Comak, E. Budak // Journal of Sound and Vibration. -2016. vol. 360 -p. 17 – 30.
 14. Юсубов, Н.Д. Полнофакторные модели точности выполняемых размеров многоинструментной обработки на станках-автоматах токарной группы/ Н.Д. Юсубов, Х.М. Аббасова //Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение», -2019. №1, -с. 56–67.
 15. Azvar, M. Multi-dimensional chatter stability for enhanced productivity in different parallel turning strategies / M. Azvar, E. Budak // International Journal of Machine Tools and Manufacture. -2017. vol. 123. -p. 116-128. DOI: 10.1016/j.ijmachtools. -2017.08.05.
 16. Юсубов, Н.Д. Управление обработкой при многоинструментной двухсуппортной наладке/ Н.Д. Юсубов, Г.М. Аббасова// Вестник машиностроения, -2020. №3, -с. 67-73

Мəqalə qəbul olunub: 14.04.2020

Təvsiyə ediblər: t.e.d., prof. A.T.Məmmədov; t.e.d., prof. N.Ş.İsmayilov