

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI

UOT 621.941.01

ÇOXALƏTLİ ÇOXSUPPORTLU SAZLAMALARDA NƏZƏRİ DƏQİQLİK MODELİNİN ADEKVATLIĞININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

¹Abbasova H.M., ²Sazonova N.S.

¹Azərbaycan Texniki Universiteti,
AZ1073, Bakı şəh., H. Cavid pr., 25

²Cənubi Ural Dövlət Universiteti
Rusiya, Çelyabinsk şəh., Lenin pr., 76

E-mail: abbasova.heyran@aztu.edu.az, 16nata@yandex.ru

Xülasə. Məqalədə müasir RPİ çoxməqsədli dəzgahlarında çoxalətli ikisupportlu sazlamalar zamanı yerinə yetirilən ölçülərin təhrif olunmasının tamfaktorlu matris modelinin adekvatlığının qiymətləndirilməsi məqsədilə aparılmış eksperimentlərin nəticələri şərh olunmuşdur. Eksperimental məlumatların emalı nəticələri Styudent kriteriyası və Romanovski kriteriyası üzrə qiymətləndirməklə riyazi statistika metodları ilə həyata keçirilmişdir. Riyazi modellərin ədədi analizi kompüterdə Maple 2016 "Tətbiqi Proqramlar Paketinin" köməyi ilə yerinə yetirilmişdir. Ölçülərin təhrif olunmasının nəzəri tamfaktorlu modelinin real prosesə adekvatlığının yoxlanılması üçün aparılmış araşdırma, bu qiymətlərin lazımı qədər yaxın olduqlarını göstərmişdir. Nəticədə, bir daha qeyd edilmişdir ki, tamfaktorlu matris modeli əsas texnoloji və konstruktiv amillərin təsirini ehtiva edir və dəqiqlik modeli əməliyyatların layihələndirilməsi üçün istifadə edilə bilər.

Abstract. The article reflects the results of the experiments carried out for the purpose of evaluating the adequacy of the full-factor matrix model of the distortion of dimensions performed in multi-tool two-carriage adjustments on modern multi-purpose CNC machines. Experimental data processing results were evaluated by Student's criterion and Romanovsky's criterion using mathematical statistical methods. Numerical analysis of mathematical models was performed on a computer with the help of Maple 2016 "Application Software Package". A study conducted to verify the adequacy of the theoretical full-factor model of measurement distortion to the real process showed that these values are close enough. As a result, it was once again noted that the full-factor matrix model includes the influence of the main technological and structural factors, and the accuracy model can be used to design operations.

Аннотация. В статье отражены результаты экспериментов, проведенных с целью оценки адекватности полнофакторной матричной модели искажения размеров, выполняемых в многоинструментных двухсуппортных наладках на современных многоцелевых станках с ЧПУ. Результаты обработки экспериментальных данных оценивали по критерию Стьюдента и Романовского с использованием методов математической статистики. Численный анализ математических моделей выполнен на компьютере с помощью «Пакет прикладных программ» Maple 2016. Исследование, проведенное для проверки адекватности теоретической полнофакторной модели искажения размеров реальному процессу, показало, что эти значения достаточно близки. В результате, еще раз было отмечено, что полнофакторная матричная модель включает влияние основных технологических и конструктивных факторов, и модель точности может быть использована для проектирования операций.

Açar sözlər: çoxalətli çoxsupportlu sazlamalar, dəqiqlik modeli, ölçülərin təhrif olunmasının nəzəri tamfaktorlu modeli, dəqiqlik modelinin adekvatlığı

Key words: *multi-tool multi-carriage setups, accuracy model, a theoretical full-factor model of distortion of dimensions, adequacy of the accuracy model*

Ключевые слова: *многоинструментные многосуппортные наладки, точностная модель, теоретическая полнофакторная модель искажения размеров, адекватность точностной модели*

Giriş. Çoxməqsədli rəqəmli proqramla idarə edilən (RPİ) dəzgahları yüksək səviyyəli avtomatlaşdırmaya və geniş texnoloji imkanlara malikdir. Buna görə də çoxalətli emalın yeni növ RPİ çoxməqsədli dəzgahlarında tətbiqi daha səmərəlidir. Belə ki, müasir RPİ çoxməqsədli dəzgahları alətin avtomatik dəyişilməsilə bir yerləşmədə çoxlu sayda səthin eyni zamanda emalına imkan verən avtomatlaşdırılmış RPİ dəzgahlarıdır və istehsalatda geniş tətbiq edilirlər. Eləcə də, müasir metal emalı sənayesinin qarşısında duran vacib məsələlərdən biri emal olunan hissələrin tələb olunan keyfiyyətinin və yüksək məhsuldarlığının təmin olunması üçün çoxalətli emalın optimal variantının seçilməsidir. Bu mənada çoxalətli emalın müasir RPİ çoxməqsədli dəzgahlara tətbiqi maraq doğurur.

Hal-hazırda respublikamızın maşınqayırma sənayesində də yeni növ məhsulların istehsalatda mənimlənməsi zamanı məmulun zəruri keyfiyyətini və rəqabətqabiliyyətliliyini təmin etməklə istehsalın səmərəliliyinin yüksəldilməsi üçün material, əmək, vaxt sərfələrinin azaldılması və yüksək emal məhsuldarlığı məsələlərinin həlli yolları axtarılır. Belə məsələlərin həlli isə birbaşa mexaniki emal texnologiyasının təkmilləşdirilməsi və istehsal olunan məhsulun ölçü və həndəsi dəqiqliyinin sistemə yüksəldilməsi ilə əlaqədardır. Bu baxımdan həm keçidlərin konsentrasiyası, həm də emalın dəqiqliyi ilə əlaqədar böyük texnoloji imkanlara malik müasir çoxsupportlu və çoxşpindelli RPİ çoxməqsədli dəzgahlarının belə müəssisələrin istehsalatında tətbiqinə ehtiyac yaranır. Bu avadanlıqlar üçün çoxalətli sazlamaların layihələndirilməsi və sazlamalar üçün kəsmə rejimlərinin təyini üzrə normativ tövsiyələrin olmaması isə müasir RPİ dəzgahlarının texnoloji imkanlarından həddindən artıq az səviyyədə istifadə olunmasına gətirib çıxarır.

Çoxalətli emalın layihələndirilməsinin hesablaşma nəzəriyyəsinin yaradılması zamanı A.A. Koşin [1] və N.D. Yusubov [2, 3, 4, 5], ilk növbədə, yerinə yetirilən ölçülərin təhrif edilməsi və onların səpələnmə sahələrinin modellərinin çoxalətli sazlamaların strukturunu (uzununa supportun və eninə supportun müxtəlif növ alətlərini, uzununa və eninə supportların eyni zamanda işləməsinə və s.) nəzərə alan kompleks riyazi modellərinin işlənməsinin zəruri olduğunu göstərmişlər.

N.D. Yusubov müasir çoxşpindelli və çoxsupportlu RPİ dəzgahlarında çoxalətli emalın layihələndirilməsi nəzəriyyəsinin alətlərin əyri xətti trayektoriya üzrə hərəkət imkanları, eləcə də sazlamadakı alətlərin ixtiyari fəza yerləşməsi nəzərə alınmaqla sazlamadakı alətlərin qarşılıqlı qüvvə təsiri balansını əsasında qurulmalı olduğunu əsaslandıraraq və müasir RPİ dəzgahlarında çoxalətli emalın layihələndirilməsi üçün funksional idarəetmə səviyyəsinə qədər çoxalətli emalın matris dəqiqlik nəzəriyyəsinə yaratmışdır. O, çoxalətli emalın təşkili üzrə müasir RPİ torna dəzgahları qrupunun texnoloji imkanlarını nəzərə almaqla çoxalətli sazlamaların çoxfaktorlu sistemə təsnifatını işləmiş, sonra isə çoxalətli sazlamaların yaradılmış təsnifatı əsasında yerinə yetirilən ölçülərin dəqiqliyinin təhrif edilməsi və pəstah dəstlərinin emalı zamanı ölçülərin səpələnmə sahəsi modelindən ibarət kompleks matris modellərini işləmişdir. Burada ilk dəfə olaraq o, bütün koordinat oxları üzrə texnoloji sistemin elastikliyi nəzərə alınmış, sazlamaların alətlərinin ixtiyari fəza yerləşməsi mümkünlüyünü göstərmişdir [2, səh. 93; 6].

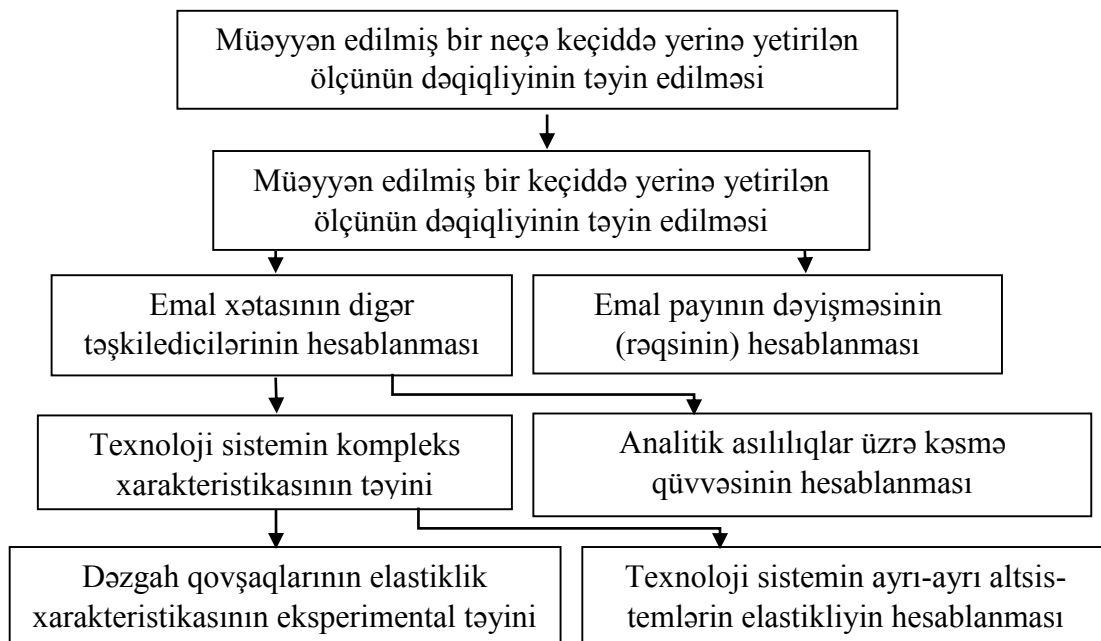
Araşdırma göstərmişdir ki, N.D. Yusubovun çoxalətli çoxsupportlu emalın dəqiqliyinin matris nəzəriyyəsi əsasında işlədiyi emal xətlərinin əksər modelləri texnoloji sistemin altsistemlərinin düzxətli-paralel yerdəyişmələrini nəzərə alır. Emal xətlərinin formalaşma prosesinə belə yanaşma qabarit ölçüləri bütün koordinat oxları boyunca eyni tərtibdə olan hissələr üçün buraxıla bilər. Lakin praktikada torna əməliyyatı zamanı qabarit ölçüləri müxtəlif istiqamətlərdə kəskin fərqlənən hissələr də emal edilir. Məsələn, uzun vallar (xətli ölçüləri üstünlük təşkil edən), disk və flans (diametral ölçüləri üstünlük təşkil edən) tipli hissələr. Belə hallarda emal xətlərinə əhəmiyyətli dərəcədə

mövcud vəziyyətdə emal edilən pəstahın dönmələri, xüsusilə də qabarit ölçülərinin üstünlük təşkil etdiyi istiqamətdə dönməsi də təsir edəcəkdir.

Dos. H.M.Abbasova tərəfindən çoxalətli ikisupportlu sazlamalarda yerinə yetirilən ölçülərin səpələnmə sahələrində texnoloji sistemin altsistemlərinin həm müstəvi-paralel yerdəyişmələrini, həm də baza nöqtələri ətrafında bucaq yerdəyişmələrini nəzərə alan tamfaktorlu matris modelləri işlənmişdir [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

Çoxalətli çoxsupportlu sazlamalar üçün işlənmiş ölçülərin təhrif olunmasının nəzəri dəqiqlik modelinin adekvatlığının qiymətləndirilməsi üçün müəyyən eksperiment və hesablamaların həyata keçirilməsi zəruridir.

Çoxalətli çoxsupportlu sazlamalarda nəzəri dəqiqlik modelinin adekvatlığının qiymətləndirilməsi üçün eksperimentlər. Çoxalətli çoxsupportlu sazlamalar üçün işlənmiş ölçülərin təhrif olunmasının nəzəri tamfaktorlu modellərinin [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] adekvatlığının qiymətləndirilməsi üçün şəkil 1-də göstərilmiş bir neçə köməkçi eksperimental və hesablama məsələlərini həll etmək lazımdır.



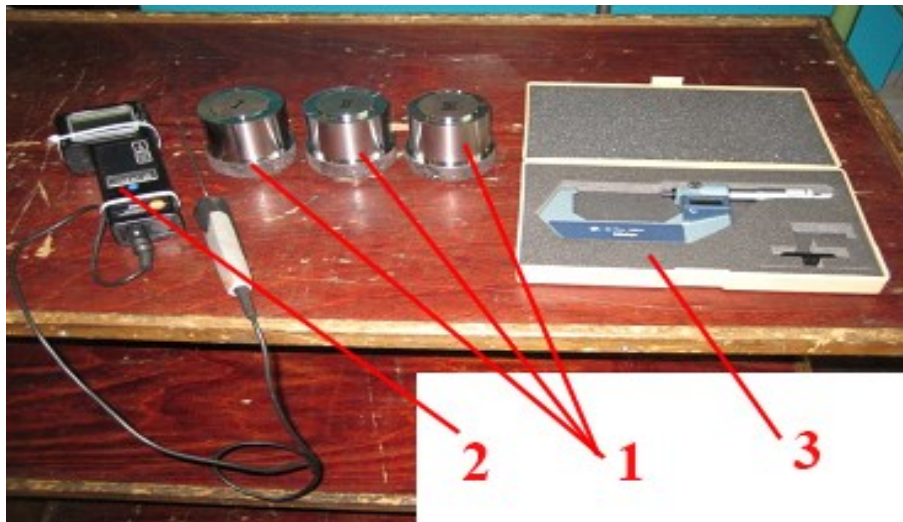
Şəkil 1. Ölçülərin təhrif olunmasının nəzəri tamfaktorlu modelinin təcrübi yoxlanılması sxemi

Eksperimentlər INDEX V 160 RPI torna dəzgahında torna emalı sxemi üzrə həyata keçirilmişdir (şəkil 2).

Müəyyən edilmiş bir və bir neçə keçiddə yerinə yetirilən ölçünün dəqiqliyinin təyin edilməsi üçün təcrübə zamanı 3 pəstah hazırlanmış və 1, 2, 3 rəqəmləri ilə nömrələnmişdir. Burada pəstahların diametrləri diametri 80 mm, materialları isə polad 45-dir. Sonradan isə bu pəstahların üçü də $d=74,90$ mm diametral ölçüsünə, son keçiddə $t=0,5$ mm olmaqla $S=0,24\text{m/dəq}$, $v_c=200$ m/dəq kəsmə rejimlərində emal olunmuş və müxtəlif temperaturlarda diametrləri ölçülmüşdür (şəkil 2, 3).



Şəkil 2. Pəstah nümunələrinin emalı sxemi



Şəkil 3. Təcrübə zamanı istifadə olunan nümunə və ölçmə alətləri: 1 - 1,2,3 - pəstah nümunələri; 2 - Testoterm 9000 Typ K/J/Thermistor; 3 - Mitutoyo mikrometri

Nəhayət 1-ci pəstahdan $t=1$ mm, 2-ci pəstahdan $t=2$ mm və 3-cü pəstahdan $t=3$ mm emal payı götürülməklə yuxarıda göstərilən kəsmə rejimləri ilə emal aparılmış, onların müxtəlif temperaturlarda xarici diametrləri ölçülmüşdür. Xarici diametrlərin ölçülməsi bir-birinə perpendikulyar iki istiqamətdə həyata keçirilmişdir. Təcrübələrin nəticələri cədvəl 1, 2, qrafik 1, 2 və 3-də verilmişdir.

Cədvəl 1

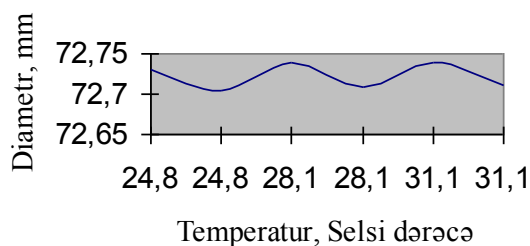
Müəyyən edilmiş bir və bir neçə keçiddə yerinə yetirilən ölçünün dəqiqliyinin təyin edilməsi üçün
təcrübə nəticələri

1 nömrəli pəstah						
Emalın ilkin diametri, mm	Kəsmə rejimləri			Temperatur, Selsi dərəcə	Ölçmənin istiqaməti	Diametr, mm
	S, mm/dövr	V, m/dəq.	t, mm			
75	0,24	200	0,5	28,4	A-A	74,804
				28,4	B-B	74,78
				27,8	A-A	74,72
				27,8	B-B	74,719
74, 72			1	24,8	A-A	72,73
				24,8	B-B	72,705
				28,1	A-A	72,739
				28,1	B-B	72,709
				31,1	A-A	72,74
				31,1	B-B	72,71
2 nömrəli pəstah						
75	0,24	200	0,5	33,1	A-A	74,727
33,1				B-B	74,723	
74, 725			2	26,6	A-A	70,708
				26,6	B-B	70,683
				34,4	A-A	70,723
				34,4	B-B	70,691
3 nömrəli pəstah						
75	0,24	200	0,5	33,4	A-A	74,717
33,4				B-B	74,714	
74,716			3	27,3	A-A	68,692
				27,3	B-B	68,655
				38,6	A-A	68,702
				38,6	B-B	68,665

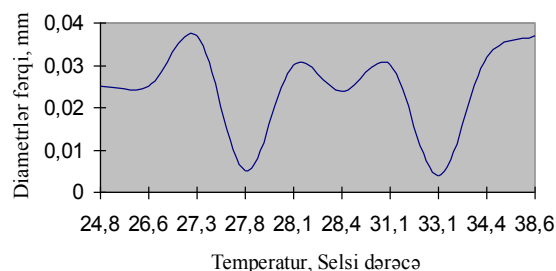
Cədvəl 2

Müəyyən edilmiş bir və bir neçə keçiddə yerinə yetirilən ölçünün dəqiqliyinin temperaturdan asılılığı

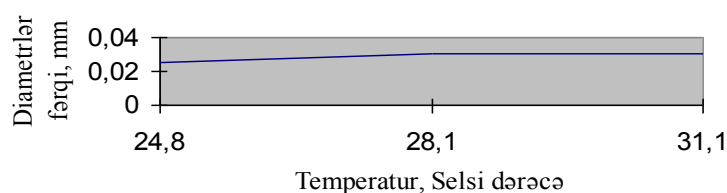
Temperatur	Diametr, A istiqamətində, mm	Diametr, B istiqamətində, mm	Orta diametr, mm	Diametrlər fərqi, mm
24,8	72,73	72,705	72,7175	0,025
26,6	70,708	70,683	70,6955	0,025
27,3	68,692	68,655	68,6735	0,037
27,8	74,724	74,719	74,7215	0,005
28,1	72,739	72,709	72,724	0,03
28,4	74,804	74,78	74,792	0,024
31,1	72,74	72,71	72,725	0,03
33,1	74,727	74,723	74,725	0,004
34,4	70,723	70,691	70,707	0,032
38,6	68,702	68,665	68,6835	0,037



Qrafik 1. Pəstahın xarici diametrinin temperaturdan asılılığı



Qrafik 2. Diametrlər fərqinin temperaturdan asılılığı



Qrafik 3. 1-ci pəstahın diametrlər fərqinin temperaturdan asılılığı

Ölçülərin təhrif olunmasının nəzəri tamfaktorlu modelinin adekvatlığının qiymətləndirilməsi. Ölçülərin təhrif olunmasının nəzəri tamfaktorlu modelinin adekvatlığının qiymətləndirilməsi zamanı pəstahın yerləşdirilməsindən sonra pəstahın yerləşdirilmə xətasını və forma xətasını aradan qaldırmaq üçün onu müəyyən edilmiş 75 mm ölçüdə ilkin emal edirik. Bu isə öz növbəsində sonrakı emalda emal payının bərabərölçülülüyünü təmin edir. İlkin emalı böyük olmayan s veriş və t emal payı ilə yerinə yetiririk. Bundan sonra onun ölçüsünü mikrometr ilə ölçüb nəticəsini qeyd edirik. Asılılıqların adekvatlığının yoxlanılması üçün yerinə yetirilən ölçünün dəqiqliyinin nəzəri və eksperimental qiymətləri müqayisə edilmişdir. Analiz bu qiymətlərin lazımı qədər yaxın olduqlarını göstərmişdir (cədvəldə göstərilən və digər hallar üçün fərqlənmə 10%-i keçmir). Dəqiqlik modellərinin adekvatlığının yoxlanılması nəticəsi cədvəl 3-də göstərilmişdir.

Cədvəl 3

Üst yonuş kəskisi ilə yonmada yerinə yetirilən ölçünün dəqiqliyinin hesablanmış və eksperimental qiymətlərinin tutuşdurulması (ilkin verilənlər: emal olunan material polad 45, $\sigma = 630 \text{ MPa}$, kəsən alətin parametrləri: kəsən lövhə CNMG 120408 P04 4225 CoroKey: pəstahın dəqiqlik keyfiyyəti -12, kəsmə sürəti 200 m/dəq, veriş 0,24 mm/dövr)

Emalın ilkin diametri, mm	Kəsmə rejimləri			Yerinə yetirilən ölçünün dəqiqliyi		Fərq , %
	S, mm/dövr	V, m/dəq.	t, mm	Hesablama yolu ilə	Eksperiment yolu ilə	
				w	y	
1 nömrəli pəstah						
74,722	0,24	200	1	85	83	2,35
2-nömrəli pəstah						
74, 725	0,24	200	2	88	85	3,4
3 nömrəli pəstah						
74,716	0,24	200	3	102	96	5,8

Bütün təcrübi nəticələrin dağılması nəzərə alınaraq orta qiymətin təyini və onların Student kriteriyası üzrə nəzəri modelə uyğunluğu yoxlanılmışdır. Təcrübələrin zəruri təkrarlanma sayı Romanovski kriteriyası üzrə müəyyənləşdirilmişdir [14].

Nəzəri nəticələrin dürüstlüyü laboratoriya və istehsalat şəraitində eksperimentlərlə təsdiq edilmişdir. Təcrübə işləri müasir texniki vasitələrdən - qüvvə ölçən verici (Kraftmessung-Kraftmess-quarz Kistler Typ 9102 vorgespannt), yükləmə gücləndiricisi (Ladungsverstaerker Kistler Typ 5004), yerdəyişmə ölçən verici (Wegsensoren Solarton Typ AX/1/SH), ölçmə nəticələri gücləndiricisi (Messverstaerker HBM Typ MGCplus, Empfindlichkeit 100 $\mu\text{m}/V$ oder 10 $\mu\text{m}/V$), signalqəbuledicidən (Signalaufnahme (National Instruments High Speed USD Carrier Typ Ni USD 9162, National Instruments Messkarte Typ Ni 9215, Filter: KEMO Typ VBF 8; Lowpass 10 Hz DC) və personal kompüterdən (Laptop HP Compaq nx 8220, Software: Ni LabView) istifadə etməklə aparılmışdır.

Nəticə.

1. Ölçülərin təhrif olunmasının nəzəri tamfaktorlu modelinin real prosesə adekvatlığının yoxlanılması bu modelin kifayət qədər yaxınlaşma dərəcələrinin olduğunu göstərmişdir. Hesabi və eksperimental nəticələrin uyğunsuzluğu 10% -i keçmir, bu isə maşınqayırmada qəbul olunmuş 95 % etibarlıq ehtimalının səviyyəsinə uyğundur.

2. İkisupportlu sazlamalar üçün işlənmiş ölçülərin təhrif olunmasının nəzəri tamfaktorlu modelləri əsas texnoloji və konstruktiv amillərin təsirini əks etdirir və bu səbəbdən dəqiqlik tələbinin nəzərə alınması üzrə əməliyyatların layihələndirilməsi zamanı istifadə oluna bilər.

3. Tamfaktorlu matris modellərinin müəyyən edilmiş işləkliyi və nəzərə alınmış əhatə dairəsi onlardan çoxalətli ikisupportlu emalın idarəetmə modelinin əsasları kimi istifadə etməyə imkan verir.

Ədəbiyyat

1. Кошин, А. А. Теория точности и оптимизация многоинструментной токарной обработки: / диссертация доктора технических наук, специальность 05.02.08 – Технология машиностроения. –Челябинск, 1997. –290 с.

2. Юсубов, Н.Д. Повышение эффективности многоинструментной обработки на станках-автоматах токарной группы: / диссертация доктора технических наук, специальность 05.02.08 – Технология машиностроения. / –Баку, 2009. –424 с.
3. Юсубов, Н.Д. Многоинструментная обработка на станках - автоматах токарной группы (Матричная теория точности многоинструментной обработки на современных станках с ЧПУ токарной группы) / Н. Д. Юсубов. – Саарбрюккен: AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG / LAP LAMBERT Academic Publishing, – 2013, – 256 с.
4. Юсубов, Н. Д. Основы матричной теории точности многоинструментной токарной обработки (Принципы и структура теории, проектирования и управления процессами многоинструментной обработки) / Н. Д. Юсубов. – Саарбрюккен: OmniScriptum GmbH & Co. KG / LAP LAMBERT Academic Publishing, – 2013. – 216 с.
5. Yusubov, N.D. Matrix Models of the accuracy in multitool two-support setup // – Moscow: Russian Engineering Research, – 2009. Volume 29, issue (3), – p. 268-271.
6. Кошин, А.А., Юсубов, Н.Д. Элементы матричной теории точности многоинструментной обработки в пространственных наладках // – Челябинск: Вестник машиностроения, – 2013. №9, – с. 13-17.
7. N.D.Yusubov, H.M. Abbasova. Çoxalətli emalın dəqiqliyinin ümumiləşdirilmiş bölümlü-matris modeli // – Bakı: Elmi Əsərlər, – 2018. №4, – s. 16-22.
8. Yusubov N.D., Abbasova H.M. Full-factor matrix model of accuracy of dimensions performed on multi-purpose CNC machines // – Moscow: *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, – 2021, 23(4), – p. 6-20.
9. Yusubov, N.D., Abbasova, H.M. Models for Machining Accuracy in Multi-Tool Adjustment // - Pekan, Pahang, Malaysia: International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME), – 2020. 17 (3), – p. 8067-8085.
10. Юсубов, Н.Д., Аббасова, Г.М. Управление обработкой при многоинструментной двухсуппортной наладке // – Москва: Вестник машиностроения, – 2020. №3, – с. 67-73.
11. Yusubov, N., Abbasova, H., Khankishiyev, İ. Entwicklung einer Projektierungstheorie für die Mehrwerkzeugbearbeitung mit den Möglichkeiten der modernen CNC-Werkzeugmaschinen // – Germany: Forschung im Ingenieurwesen, – 2021. No.85, – p. 661–678.
12. Yusubov, N.D., Movlazade, V.Z., Abbasova, H.M. Accuracy models of machining in multi-tool adjustments // The 8th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COİA 2022), – Baku, Azerbaijan: – 24-26, – 2022, –vol. II, – pp. 477-479.
13. Yusubov, N.D., Movlazade, V.Z., Abbasova, H.M. Research of sensitivity of full-factor models of scattering fields of dimensions performed in multi-tool machining // The 8th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COİA 2022), – Baku, Azerbaijan: – 24-26, – 2022, –vol. II, – pp. 480-482.
14. Справочник технолога – машиностроителя: [в 2 томах]. Т. 1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. – 5-е изд., исправл. – Москва: Машиностроение-1, – 2003. – 912 с.

Мəqalə qəbul olunub: 15.09.23
Təvsiyə edib: prof. Yusubov N.D.