

QATTIQ BO‘LMAGAN VALLARNING ELASTIK DEFORMATSIYALANGAN HOLATI UCHUN MOSLASHUVCHAN BOSHQARISH ALGORITMI

Larisa Faritovna SULYUKOVA

professor

texnika fanlari doktori (DSc)

“TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti

Toshkent, O‘zbekiston

slf72@yandex.com

Sindor Ne‘matovich DJUMAYEV

mustaqil izlanuvchi

Samarqand davlat universiteti

Samarqand, O‘zbekiston

sindordjumayev@gmail.com

Annotatsiya

Ushbu maqolada mexanik ishlov berish texnologik tizimlarini optimal boshqarish uchun moslashuvchan boshqaruv algoritmini ishlab chiqish masalasi keltirilgan. Unda taklif etilayotgan algortimni qo‘llagan holda qattiq bo‘lmagan detallarga ishlov berish samaradorligini oshirish orqali tayyorlanadigan mahsulotning sifatini ko‘tarish hamda sarflanadigan xarajatlarni minimallashtirishga erishish yo‘llari amaliy jihatdan isbotlab beriladi.

Tayanch so‘zlar: algortim, detal, boshqarish, diametr, kuch, uzunlik, kesish, trayektoriya, cheklash, qadam.

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ УПРУГО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ

Лариса Фаритовна СУЛЮКОВА

Профессор

доктор технических наук (DSc)

Национальный исследовательский университет «ТИИИМСХ»

Ташкент, Узбекистан

slf72@yandex.com

Синдор Нематович ДЖУМАЕВ

независимый исследователь

Самаркандский государственный университет

Самарканд, Узбекистан

sindordjumayev@gmail.com

Аннотация

В данной статье представлена разработка гибкого алгоритма управления для оптимального управления технологическими системами механической обработки. В данной работе за счет повышения эффективности обработки нежестких деталей с использованием предложенного алгоритма достигается повышение качества изготавливаемой продукции и минимизация затрат.

Ключевые слова: алгоритм, деталь, управление, диаметр, сила, длина, резания, траектория, ограничение, шаг.

Texnologik jarayonni boshqarish tizimlarini loyihalashda boshqarishning nazariy asoslarini ishlab chiqish muhim o‘rin tutadi. Bu asoslar mazkur jarayonni boshqarishning matematik modeli (MM) va algoritmlarini yaratish hamda boshqarish tizimining sifat ko‘rsatkichlari va uning dinamik xususiyatlariga doir asosiy talablarni ishlab chiqishni o‘z ichiga oladi. Mexanik ishlov berish jarayonida egiluvchan vallarning elastik-deformatsiyalangan holatini boshqarish uchun optimallashtirish mezonlari va boshqaruv ta’sirlarini sintezlashning rasmiy metodikasini ishlab chiqish zarur.

Mexanik ishlov berish texnologik tizimini boshqarishni sintez qilish uslubi. Mexanik ishlov berish texnologik tizimlarini boshqarish uchun shakllantirilgan noxiziqli dasturlash masalasini yechish uchun optimallashtirishning sonli usullarini kombinatsiyalangan tarzda qo‘llashga asoslangan ko‘p bosqichli metodika ishlab chiqildi [2].

To‘rlar usuli – maqsad funksiyasining xususiyatlarini dastlabki tahlil qilish va global minimum sohasini aniqlash bosqichida qo‘llaniladi. $F_{x1,e}$ parametrlarini aniqlash sohasi $\Delta F_x = 98\text{ N}$ va $\Delta_e = 0.2\text{ mm}$ qadamli muntazam to‘rga diskretlanadi. To‘rning har bir tugunida (2.25) cheklovlarni hisobga olgan holda $Y_{F_{x1},e}$ maqsad funksiyasining qiymati hisoblanadi. Javob yuzasining uch o‘lchovli xaritasini tuzish funksiyaning xarakterini ko‘rsatish va izlashning istiqbolli yo‘nalishlarini aniqlash imkonini beradi [1].

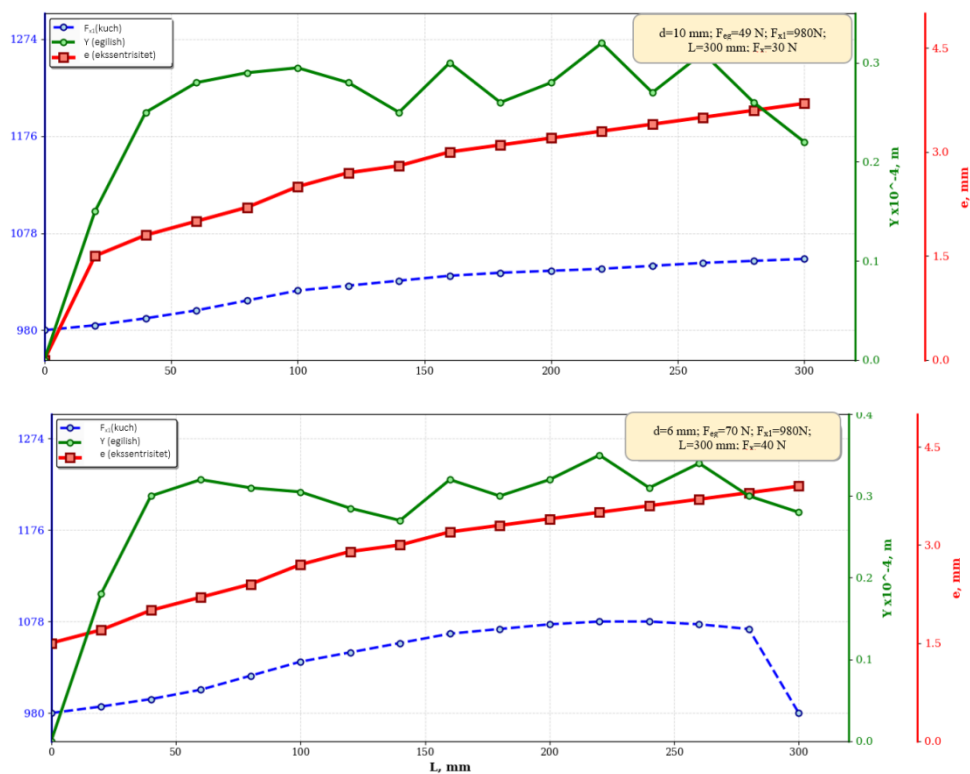
1-rasm, a da tasvirlangan $Y_{F_{x1},e}$ fazoviy javob yuzasi F nuqtada yagona global minimumga ega bo‘lgan o‘ziga xos qavariq shaklni namoyon etadi. Ushbu xususiyat mahalliy ekstremumlarga tushish xavfini bartaraf etgan holda samarali gradiyent optimallashtirish usullarini qo‘llash imkonini beradi.

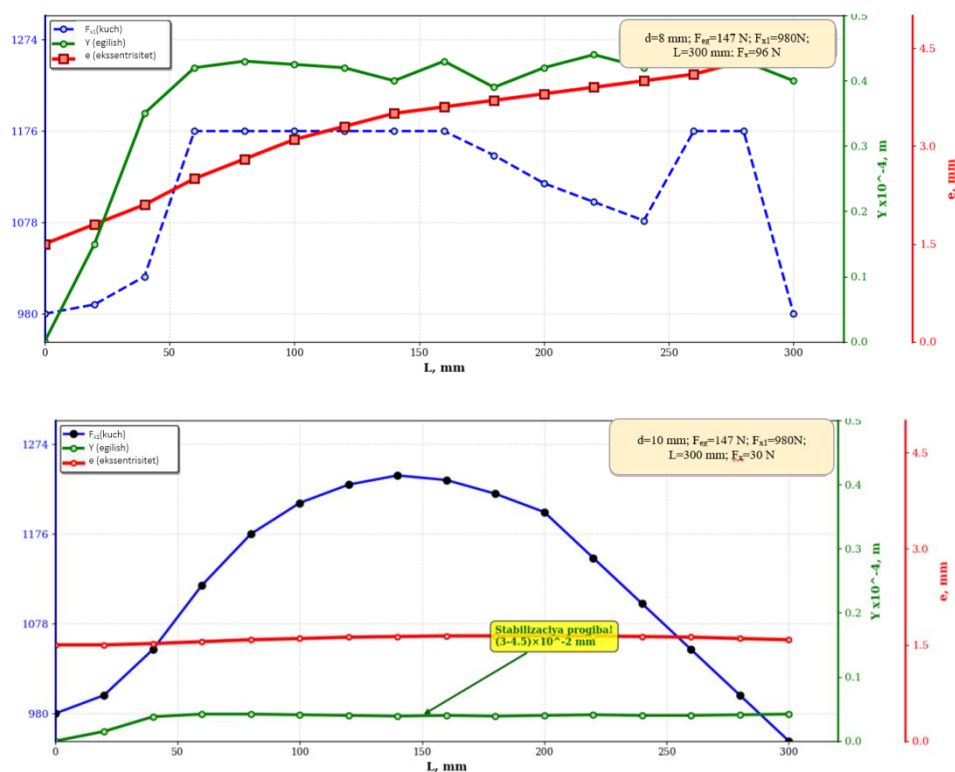
Dixotomiya usuli – parametrlardan birining qat’iy belgilangan qiymatida bir o‘lchamli optimallashtirishda qo‘llaniladi. Ushbu algoritmi qidiruv oralig‘ini ketma-ket ikkiga bo‘lish orqali amalga oshiriladi. Bunda bo‘linish nuqtalarida

funksiya qiymatlari hisoblanadi va minimumni o'z ichiga olgan kichik oraliq tanlanadi.

Gradiyent usullari – har ikkala boshqaruv parametrining optimal qiymatlarini ikki o'lchamli qidirishda qo'llaniladi. Maqsad funksiyasining unimodalligi tufayli $\nabla Y = (\partial Y / \partial F_x, \partial Y / \partial e)$ gradiyentini hisoblash orqali eng tez tushish usuli ishlatiladi. Bunda xususiy hosilalar va analitik ifodalardan foydalangan holda sonli differensiallash yordamida aniqlanadi. Tushish yo'nalishi gradientga qarama-qarshi tanlanadi, harakat qadami esa tushish yo'nalishi bo'ylab funktsiyani minimallashtirish shartidan aniqlanadi. To'xtatish mezoni sifatida $\|\nabla Y\| < \delta$ sharti xizmat qiladi, bunda $\delta = 10^{-4}$ gradientning kichiklik chegarasidir.

1-rasmda (a, b, v, g) turli diametrli detallar va kesish kuchlari uchun maqsad funksiyasi Y , cho'zuvchi kuch F_{x1} va eksentrisitet e o'zgarishining bog'liqliklari ko'rsatilgan [2, 3]. Bu bog'liqliklar gradiyent usuli bilan ikki o'lchovli qidiruv algoritmini qo'llash orqali sonli modellashtirish natijasida olingan.





1-rasm. (a, b, v, g) Turli detal diametrlari va kesish kuchlari uchun maqsad funksiyasi Y , cho‘zuvchi kuch F_{x1} hamda eksentrisitet e o‘zgarishlarining o‘zaro bog‘liqligi.

Ishlov berish uzunligi bo‘yicha jarayon parametrlarining o‘zgarishini inobatga olgan holda (diametrning kamayishi oqibatida tayyorlama bikrligining o‘zgarishi, konsol qulochining o‘zgarishi va boshqalar) boshqaruv parametrlarini uzluksiz tuzatib borish orqali moslashuvchan boshqaruv algoritmi ishlab chiqildi.

Moslashuvchan boshqaruv aloritmi.

Kiruvchi ma’lumotlar:

L_0 – ishlov beriladigan detalning boshlang‘ich uzunligi, mm

d – detal diametri, mm

V, S, t – kesish rejimlari (tezlik, surish, chuqurlik)

$Y_{kes.def}$ – ruxsat etilgan egilish qiymati, m

ΔL – uzunlik bo‘yicha diskretizatsiya qadami, mm (10-20 mm)

F_{x1max} – maksimal ruxsat etilgan tortish kuchi, N

e_{max} – maksimal eksentrisitet, mm

ε – optimallashtirish aniqligi

Chiquvchi ma'lumotlar:

$F_{x1}(X)$ – ishlov berish uzunligi bo'yicha tortish kuchining o'zgarish qonuni

$e(X)$ – ishlov berish uzunligi bo'yicha eksentrisitatning o'zgarish qonuni

1-qadam. Initsializatsiya

1.1. Boshlang'ich koordinatani o'rnatish: $X \leftarrow 0$

1.2. Asbobdan mahkamlagichgacha bo'lgan boshlang'ich masofani aniqlash:

$$a_0 \leftarrow 0.2L_0$$

1.3. Boshqarish parametrlarining boshlang'ich qiymatlarini berish:

$$F_{x1(0)} \leftarrow 980 \text{ N (bazaviy qiymat)}$$

$$e^{(0)} \leftarrow 1.0 \text{ mm } (d \leq 6 \text{ mm uchun}) \text{ yoki } e^{(0)} \leftarrow 1.5 \text{ mm } (d > 6 \text{ mm uchun})$$

1.4. Trayektoriya saqlash massivlarini initsializatsiya qilish:

$$F_{x1 \text{ trajectory}} \leftarrow [], \quad e_{\text{trajectory}} \leftarrow [], \quad Y_{\text{trajectory}} \leftarrow []$$

2-qadam. Kesish kuchlarining tashkil etuvchilarini aniqlash

2.1. Kesish kuchlarining tashkil etuvchilarini o'lchash yoki empirik bog'lanishlar bo'yicha hisoblash:

$$F_X = C_F X \cdot t_F^x X \cdot S_F^y X \cdot V_F^n X, \quad F_Y = C_F Y \cdot t_F^x Y \cdot S_F^y Y \cdot V_F^n Y, \quad F_Z = C_F Z \cdot t_F^x Z \cdot S_F^y Z \cdot V_F^n Z$$

2.2. Egilish kuchining natijasini hisoblash: $F_{eg} = \sqrt{(F_{Y^2} + F_{Z^2})}$

3-qadam. Joriy geometrik parametrlarni hisoblash

3.1. Ishlov berilgan qismning joriy uzunligini aniqlash: $L_{tes} = X$

3.2. Asbobdan mahkamgacha bo'lgan masofani aniqlash: $a = L_0 - X$

3.3. Geometrik cheklashni tekshirish:

Agar $a < 0.2L_0$ bo'lsa, $a \leftarrow 0.2L_0$ cheklash tugadi

3.4. Kesimning joriy inertsia momentini hisoblash: $I = \pi \cdot d^4 / 64$

4-qadam. Joriy koordinata uchun maqsad funksiyasini shakllantirish

4.1. $Y(F_{x1}, e)$ maqsad funksiyasini aniqlash:

I uchastka uchun ($0 < X_1 < a$):

$$Y_1(X_1) = (Q_0 / \lambda_1^3 EI) \cdot [\lambda_1 X_1 - sh(\lambda_1 X_1)] + (M_0 / \lambda_1^2 EI) \cdot [1 - ch(\lambda_1 X_1)]$$

II uchastka uchun ($0 < X_2 < L - a$):

$$Y_2(X_2) = (1/\lambda_2^3 EI) [\lambda_2 X_2 - \text{sh}(\lambda_2 X_2)] \cdot [Q_0 + P_{eg} \cdot \text{sh}(\lambda_1 a) + M_0 \cdot \lambda_1 \text{ch}(\lambda_1 a)] + \\ (1/\lambda_2^2 EI) \cdot [1 - \text{ch}(\lambda_2 X_2)] \cdot [M_0 + P_{eg} \cdot \text{sh}(\lambda_1 a) + Q_0 \cdot \text{ch}(\lambda_1 a)]$$

bunda: $\lambda_1 = \sqrt{[(F_{x1} - F_x) / (EI)]}$, $\lambda_2 = \sqrt{[F_{x1} / (EI)]}$, $E = 2.1 \cdot 10^{11}$ Pa

4.2. Chegaraviy shartlardan Q_0 va M_0 boshlang'ich parametrlarni aniqlash:

$$Y_2(L - a) = -Y_1(a), \quad Y_2'(L - a) = 0$$

5-qadam. Boshqarish parametrlarini optimallashtirish

5.1. Boshlang'ich yaqinlashuvni berish:

$$F_{x1}^{(i)} \leftarrow F_{x1}^{(i-1)} \text{ (oldingi qadamdan qiymat)}, \quad e^{(i)} \leftarrow e^{(i-1)}$$

5.2. Optimallashtirish sikli (gradient usuli):

5.2.1. Maqsad funksiyasining gradientini hisoblash: $\nabla Y = [\partial Y / \partial P_{x1}, \partial Y / \partial e]^T$

bu yerda xususiy hosilalar sonli hisoblanadi:

$$\partial Y / \partial F_{x1} \approx [Y(F_{x1} + \delta F_{x1}, e) - Y(F_{x1}, e)] / \delta F_{x1}$$

$$\partial Y / \partial e \approx [Y(F_{x1}, e + \delta e) - Y(F_{x1}, e)] / \delta e$$

qadamlar bilan $\delta P_{x1} = 10$ N, $\delta e = 0.05$ mm

5.2.2. Gradient normasini hisoblash:

$$\|\nabla Y\| = \sqrt{(\partial Y / \partial F_{x1})^2 + (\partial Y / \partial e)^2}$$

5.2.3. Agar $\|\nabla Y\| < \varepsilon$ bo'lsa, qadam 6 ga o'tish (optimal topildi)

5.2.4. Tushish yo'nalishini aniqlash: $d = -\nabla Y / \|\nabla Y\|$

5.2.5. Oltin kesim usuli bilan $[0, \alpha_{\max}]$ intervalida optimal qadam α ni topish:

$$\alpha_{opt} = \arg \min \{Y(F_{x1} + \alpha \cdot d_{P_{x1}}, e + \alpha \cdot d_e) \mid 0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}\}$$

5.2.6. Parametrlar qiymatlarini yangilash: $F_{x1new} = F_{x1} + \alpha_{opt} \cdot d_{F_{x1}}$, $e_{new} = e + \alpha_{opt} \cdot d_e$

5.2.7. Cheklashlarni (2.15) tekshirish:

Agar $F_{x1new} > F_{x1max}$ bo'lsa, $F_{x1new} \leftarrow F_{x1max}$ cheklash tugadi

Agar $F_{x1new} > \sigma_{rn} \cdot F_p / K_p$ bo'lsa, $F_{x1new} \leftarrow \sigma_{rn} \cdot F_p / K_p$ cheklash tugadi

Agar $e_{new} > e_{max}$ bo'lsa, $e_{new} \leftarrow e_{max}$ cheklash tugadi

Agar $e_{new} < 0$ bo'lsa, $e_{new} \leftarrow 0$ cheklash tugadi

5.2.8. Joriy qiymatlarni yangilash:

$$F_{x1} \leftarrow F_{x1\ new}, \quad e \leftarrow e_{new}$$

5.2.9. Optimallashtirish sikli tugadi

6-qadam. Texnologik mezonni tekshirish

6.1. Topilgan optimal parametrlarda ishlov berish zonasidagi egilishni hisoblash:

$$Y_{opt} = Y(F_{x1\ opt}, e_{opt}, X)$$

6.2. Agar $Y_{opt} > Y_{kes.def}$ bo'lsa,

OGOHLANTIRISH: "Talab qilingan aniqlik erishilmayapti".

TAVSIYA: kesish rejimlarini pasaytirish yoki bazalash sxemasini o'zgartirish

7-qadam. Natijalarni saqlash va boshqaruvchi ta'sirlarni shakllantirish

7.1. Optimal qiymatlarni massivlarga saqlash:

$$F_{x1\ trajectory.append}(F_{x1\ opt})$$

$$e_{trajectory.append}(e_{opt})$$

$$Y_{trajectory.append}(Y_{opt})$$

7.2. Ijro mexanizmlari uchun boshqaruvchi signallarni shakllantirish:

$U_{F_{x1}(t)} = K_{F_{x1}} \cdot (F_{x1\ opt} - F_{x1\ joriy})$ (kuch uchun PID(tizimni optimal boshqarish)-regulyator)

$U_{e(t)} = K_e \cdot (e_{opt} - e_{joriy})$ (ekssentrisitet uchun PID(tizimni optimal boshqarish)-regulyator)

8-qadam. Ishlov berishning tugash shartini tekshirish

8.1. Agar $X + \Delta L \geq L_0$ bo'lsa, qadam 9 ga o'tish (ishlov berish tugadi)

aks holda $X \leftarrow X + \Delta L$ qadam 2 ga o'tish (keyingi uchastkaga o'tish)

9-qadam. Natijalarni tahlil qilish va hisobot tuzish

9.1. Bog'lanishlar grafiklarini qurish:

$F_{x1}(X)$ – tortish kuchining o'zgarish qonuni

$e(X)$ – ekssentrisitetning o'zgarish qonuni

$Y(X)$ – detal uzunligi bo'yicha egilishning o'zgarish qonuni

9.2. Statistik xarakteristikalarini hisoblash:

$$Y_{max} = \max(Y_{trajectory})$$

$$Y_{mean} = \text{mean}(Y_{trajectory})$$

$$Y_{st.og} = \text{st.og}(Y_{trajectory})$$

9.3. Boshqarish samaradorligini baholash:

$$Samaradorlik_{koeffitsienti} = Y_{boshqarishsiz} / Y_{o'rtacha}$$

9.4. Natijalarni chiqarish:

“Ishlov berish tugadi”

“Maksimal egilish: $Y_{max} = \dots m$ ”

“O‘rtacha egilish: $Y_{o'rtacha} = \dots m$ ”

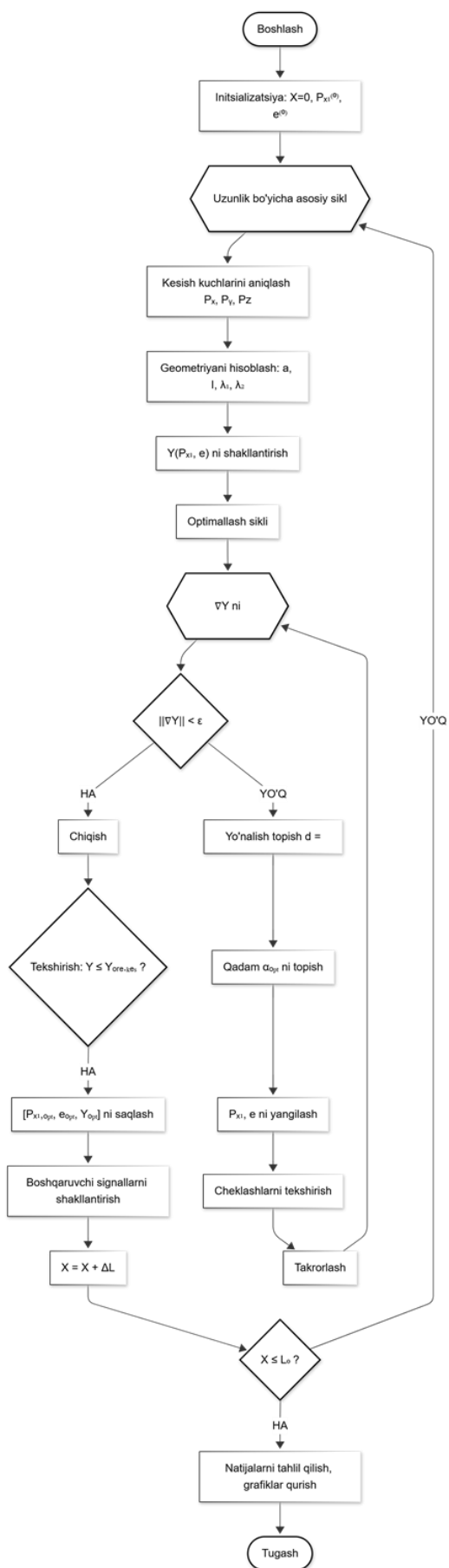
“Boshqarish samaradorligi: $\dots$ marta”

10-qadam. Yakunlash:

10.1. Boshqarish trayektoriyalarini ma'lumotlar bazasiga saqlash

10.2. Algoritm tugadi.

Algoritm blok-sxemasi 2-rasmda berilgan.



2-rasm. Moslashuvchan boshqarub algortimi blok-sxemasi.

Algoritm vaqt murakkabligi: $O(n \cdot m)$, bu yerda n – detal uzunligi bo'yicha qadamlar soni ($n = L_0 / \Delta L \approx 15 - 30$), m – gradient usulining iteratsiyalar soni ($m \approx 10 - 50$).

Amalga oshirish xususiyatlari:

- algoritm tezkorlikni ta'minlash uchun C++ dasturlash tilida amalga oshiriladi;
- RS-232 interfeysi orqali stanok CNC tizimi bilan integratsiya;
- boshqaruvchi signallarni yangilash davri: 100 ms;
- $F_{x1}(X)$ va $e(X)$ trayektoriyalarini silliqlash uchun raqamli filtrlardan foydalanish [4].

Mazkur tadqiqotda mexanik ishlov berish texnologik tizimlarida qattiq bo'lmagan vallarning elastik deformatsiyalangan holati uchun moslashuvchan boshqaruv algoritmi ishlab chiqilgan va tahlil qilingan. Ushbu yondashuv detallarga mexanik ishlov berish jarayonlari samaradorligini oshirish, matematik modellashtirish hamda zamonaviy optimallashtirish usullariga asoslangan. Ishlab chiqilgan algoritm hamda boshqaruv sintezi usuli aylanma jism tipidagi detallarning keng doirasi uchun texnologik parametrlarning oqilona qiymatlarini aniqlash imkonini beradi, bu esa ishlov berishning talab etilgan aniqligini ta'minlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Сулюкова Л.Ф. Методы и алгоритмы управления технологическими системами обработки деталей малой жесткости: дисс. док. техн. наук: 05.01.02 / Сулюкова Л.Ф. — Ташкент, 2019. — 246 с.

2.L. Sulyukova, D Yakubjanova, S Djumaev. Study of Mathematical Models When Controlling a Technological System for Processing Elastically Deformed Non-Rigid Parts. International conference “Modern Problems of Applied Science and Engineering” - 2024, May 2-3, 2024. AIP Conf. Proc. 3244, 020054 (2024) <https://doi.org/10.1063/5.0242101>

3.A. Swic, W. Taranenko, A. Abakumov, G.Taranenko, D. Wolos. Modelowanie i sterowanie obrobka ubytkowq osiowosymetrycznych czesci o malej sztywnosci. (Politechnika Lubelska, Lublin, 2015). 341 p.

4. Świć A., Gola A., Orynycz O., Tucki K., Matijošius J. Technological Methods for Controlling the Elastic-Deformable State in Turning and Grinding Shafts of Low Stiffness // Materials. – 2022. – Vol. 15, No. 15. – P. 5265.
<https://doi.org/10.3390/ma15155265>