

UO‘K: 681:51

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-1.13>

## PYTHON DASTURI YORDAMIDA AVTOMATIK ROSTLASH TIZIMLARINI TAHLIL QILISH USULLARI

**Mallayev Alisher Rajabaliyevich**<sup>1</sup> – texnika fanlari nomzodi, professor,  
ORCID: 0000-0002-9824-4438, E-mail: [yangitong60@gmail.com](mailto:yangitong60@gmail.com);  
**Rahmonov Javohir Bekpo‘lat o‘g‘li**<sup>2</sup> – magistrant.

<sup>1</sup>Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi sh., O‘zbekiston

<sup>2</sup>Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O‘zbekiston

**Annotatsiya.** Ushbu ishda Python dasturlash tili imkoniyatlaridan foydalangan holda avtomatik rostlash tizimlarini (ART) tahlil qilish va rostlagichlarni optimallashtirish usullari tadqiq etilgan. Tadqiqot obyekti sifatida issiqlik almashtirgichning uchinchi tartibli dinamik modeli olingan. Ishda SymPy kutubxonasi yordamida xarakteristik tenglama ildizlari va vaqt doimiylarini aniqlash, raqamli modellashtirish orqali obyektning o‘tish jarayoni egri chizig‘ini qurish algoritmlari keltirilgan. Shuningdek, tizim barqarorligini ta‘minlash va berilgan sifat ko‘rsatkichlariga erishish uchun D-ajratish hamda Ziegler-Nichols usullari yordamida P-, I- va PI-rostlagichlarning optimal parametrlari hisoblangan.

**Kalit so‘zlar:** avtomatik rostlash tizimi (ART), Python, D-ajratish usuli, PI-rostlagich, Ziegler-Nichols metodi, vaqt doimiysi, modellashtirish, barqarorlik zaxirasi.

УДК: 681:51

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ PYTHON

**Маллаев Алишер Ражабалиевич**<sup>1</sup> – кандидат технических наук, профессор;  
**Рахмонов Жавохир Бекпулат угли**<sup>2</sup> – магистрант.

<sup>1</sup>Университет экономики и педагогики, г. Карши, Узбекистан

<sup>2</sup>Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

**Аннотация.** В данной работе исследуются методы анализа систем автоматического регулирования (САР) и оптимизации параметров регуляторов с использованием языка программирования Python. В качестве объекта исследования принята динамическая модель теплообменника третьего порядка. В работе представлены алгоритмы определения корней характеристического уравнения и постоянных времени с помощью библиотеки SymPy, а также построение кривой разгона объекта путем численного моделирования. Для обеспечения устойчивости системы и достижения заданных показателей качества рассчитаны оптимальные параметры П-, И- и ПИ-регуляторов с использованием методов Д-разбиения и Циглера-Никольса.

**Ключевые слова:** система автоматического регулирования (САР), Python, метод Д-разбиения, ПИ-регулятор, метод Циглера-Никольса, постоянная времени, моделирование, запас устойчивости.

UDC: 681:51

## METHODS OF ANALYSIS OF AUTOMATIC REGULATION SYSTEMS USING THE PYTHON PROGRAM

**Mallaev, Alisher**<sup>1</sup> –Candidate of Technical Sciences, Professor;  
**Rakhmonov, Javokhir**<sup>2</sup> - Master student.

<sup>1</sup>University of Economics and Pedagogy, Karshi, Uzbekistan

<sup>2</sup>Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

**Abstract.** This paper explores methods for analyzing automatic control systems (ACS) and optimizing controller parameters using the Python programming language. A third-order dynamic

model of a heat exchanger is adopted as the research object. The study presents algorithms for determining characteristic equation roots and time constants using the SymPy library, as well as constructing the object's step response curve through numerical modeling. To ensure system stability and achieve specified performance criteria, optimal parameters for P, I, and PI controllers were calculated using D-partitioning and Ziegler-Nichols methods.

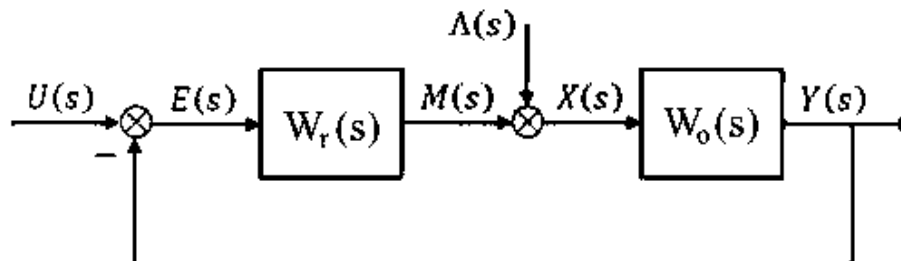
**Key words.** Automatic Control System (ACS), Python, D-partitioning method, PI controller, Ziegler-Nichols method, Time constant, Modeling, Stability margin.

### Kirish

Avtomatik rostdash (ART) va boshqarish tizimlari (ABT) ning alohida elementlarining tahlili ko'p o'rganilgan bo'lib, yaxlit tizimlarning tahlil qilish shuningdek sintez qilish muammolarini ko'rib chiqish dolzarb hisoblanadi. Ushbu maqolada Python dasturlash tili imkoniyatlaridan foydalangan holda boshqarish obyektini tahlil qilish maqsadida suvni suv bilan qizdiruvchi issiqlik almashtirgichining uchinchi tartibli dinamik modelini ko'rib chiqamiz. Ishda SymPy kutubxonasi yordamida xarakteristik tenglama ildizlari va vaqt doimiylarini aniqlash, raqamli modellashtirish orqali obyektning o'tish jarayoni egri chizig'ini qurish algoritmlari keltirilgan. ART barqarorligini ta'minlash va berilgan sifat ko'rsatkichlariga erishish uchun D-ajratish hamda Ziegler-Nichols usullari [1, 2] yordamida P-, I- va PI-rostlagichlarning optimal parametrlari Pythonda tuzilgan dastur yordamida hisoblanib, olingan natijalar grafik ko'rinishida vizuallashtiriladi, hamda murakkab texnologik jarayonlarni tahlil qilishni avtomatlashtirishda Python dasturlash tilining afzalliklari ko'rsatib berilgan.

### Uslub va materiallar

Muammoning qo'yilishini aniqlab olish va yechimlar uslubiyotini belgilab olish uchun tadqiqot obyekti sifatida issiqlik almashtirgichning uchinchi tartibli dinamik modelini olamiz. Quyidagi 1-rasmda keltirilgan yuzasidan suvni suv bilan qizdiruvchi issiqlik almashtirgichning strukturali sxemasidan foydalangan holda ARTni tahlil qilamiz (1-rasm).



$Y(s)$  - rostlanuvchi kattalik  $y(t)$  ning operator shakli (tasviri);  $U(s)$  -  $u(t)$  topshiriq signalining tasviri;  $E(s)$  - rostdash xatoligi tasviri  $\epsilon(t) = u(t) - y(t)$ ;  $M(s)$  -  $\mu(t)$  rostlovchi parametr tasviri;

$\Lambda(s)$  - rostlovchi organ kanali bo'yicha  $\lambda(t)$  g'alayonlanish tasviri  $\lambda(t)$ ;  $X(s)$  - rostdash obyektining kirish o'zgaruvchisining tasviri  $x(t) = \mu(t) + \lambda(t)$ ;  $W_r(s)$  - regulyatorning uzatish funksiyasi;  $W_o(s)$  - rostdash obyektining uzatish funksiyasi.

### 1-rasm. Suvni suv bilan qizdiruvchi issiqlik almashtirgichning strukturali sxemasi.

Ko'rib chiqilayotgan bir konturli ART og'ishlar prinsipi bo'yicha ishlaydi. Avtomatik rostdagichning kirishiga ikkita signal:  $u(t)$  topshiriq signali va  $y(t)$  rostlanuvchi parametr uzatiladi. Rostlash xatoligi  $\epsilon(t) = u(t) - y(t)$  asosida rostdagich rostdash ta'siri  $\mu(t)$  ni shunday ishlab chiqadiki, bunda rostdash xatoligi  $\mu(\tau) = 0$  minimal bo'ladi.

Ko'rib chiqilayotgan strukturali sxema uchun quyidagi masalalarni yechish zarur:

1. ARTning strukturali sxemasini qurish.
2. Issiqlik almashtirgichning matematik modelini ketma-ket ulangan uchta aperiodik zveno ( $A$  zveno)larning birikmasi ko'rinishida tasvirlab, uni tarkibiy qismlarga ajratish (dekompozitsiya qilish). Rostlash obyektini uzatish funksiyasining analitik ifodasini olish.

3. Isituvchi suvning sarfi bo'yicha maksimal g'alayonlanish uchun o'tish jarayoni egri chizig'ini hisoblash va qurish. Grafikka isitilayotgan suv haroratining ruxsat etilgan og'ish chizig'i chizish.

4. PI-rostlagich parametrlari tekisligida  $K_i = \frac{K_r}{T_1}$  va  $K_r$  tahlil qilinayotgan rostlash tizimining berilgan turg'unlik zaxirasi chizig'i grafigini hisoblash va qurish ( $m = m_{top}$ ). Tizimning turg'un ishlash chegarasi chizig'ini ( $m=0$ ) hisoblash va qurish.

5. Olingan grafikdan **P-**, **I-** va **PI-** regulyatorlarni sozlashning optimal parametrlarini aniqlash va ularni sozlash parametrlari tekisligida belgilash.

6. Bir konturli ART uchun **P-**, **I-** va **PI-** regulyatorlar bilan isitish suvi sarfi bo'yicha maksimal g'alayonlanish uchun o'tish jarayonlarini hisoblash va qurish.

7. O'tish jarayonlarini tahlil qilish.

### Natija va muhokama

Issiqlik almashtirgich modelining tarkibiy qismlarga ajratishni ko'rib chiqamiz. Dastlabki ma'lumotlarga ko'ra [3-5], issiqlik almashtirgichning matematik modeli o'zgaras koeffitsiyentli chiziqli differensial tenglama ko'rinishida ifodalangan:

$$80 \cdot \frac{d^3y(t)}{dt^3} + 56 \cdot \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 13 \cdot \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = 1,5 \cdot x(t). \quad (1)$$

Keltirilgan (1) tenglamaning chap va o'ng tomonlarini Laplas bo'yicha o'zgartirib, rostlash obyektining uzatish funksiyasining analitik ifodasini olamiz [1]:

$$W_o(s) = \frac{1.5}{80 \cdot s^3 + 56 \cdot s^2 + 13 \cdot s + 1}. \quad (2)$$

Issiqlik almashtirgich modelining dekompozitsiyasi (tarkibiy qismlarga ajratish) murakkab uzatish funksiyasini (2) elementar dinamik zvenolarning oddiy uzatish funksiyalari kombinatsiyasiga bo'lishdan iborat. Rostlash obyektining uzatish funksiyasini uchta aperiodik zveno (bundan keyin A zveno)larning ketma-ket ulanishi ko'rinishida tasvirlaymiz:

$$W_o(s) = \frac{K_1}{T_1 \cdot s + 1} \cdot \frac{K_2}{T_2 \cdot s + 1} \cdot \frac{K_3}{T_3 \cdot s + 1} \quad (3)$$

Yuqoridagi (2) va (3) ifodalarni taqqoslab, zvenolarning uzatish koeffitsiyentlarini aniqlash mumkin:

$$K_1=1,5; K_2=1; K_3=1. \quad (4)$$

Zvenolarning vaqt doimiy  $T_1$ ,  $T_2$  va  $T_3$  larini aniqlash uchun obyektning xarakteristik tenglamasini (uzatish funksiyasi (2)ning maxrajini) ko'paytuvchilarga ajratish kerak. Buning uchun xarakteristik tenglamaning ildizlarini Python dasturlash tilida mavjud bo'lgan **SymPy** moduldan foydalanaib topamiz. **SymPy** modulida faqat haqiqiy ildizlarni hisoblaydigan **real\_roots** funksiyasi mavjud.

#### Python dasturi:

```
# coding: utf8
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from sympy import *
import matplotlib as mpl
# Sozlamalar
mpl.rcParams['font.family'] = 'Arial'
# 1. Simvulli hisoblash (Vaqt doimiylarini topish)
x_sym = S('x') # x ni simvulli deb belgilab olamiz
p_poly = 80*x_sym**3 + 56*x_sym**2 + 13*x_sym + 1
z_roots = real_roots(p_poly)
print(); print("-" * 30)
print(f'Tenglamani ildizlari: z0, z1, z2: {z_roots}')
```

Dasturning bu qismi  $80 \cdot s^3 + 56 \cdot s^2 + 13 \cdot s + 1$  tenglamaning ildizlarini hisoblab beradi:  $z[0]=-1/4$ ,  $z[1]=-1/4$ ,  $z[2]=-1/5$ . Xarakteristik tenglamaning ildizlarini bilgan holda, A zvenolarning vaqt doimiylarini dasturning quyidagi qismidan foydalanib topamiz.

#### Python dasturi (davomi):

```
# Ildizlarni float tipiga o'tkazamiz
T = np.sort([-float(1/r) for r in z_roots])[::-1] # T1, T2, T3
```

$T1, T2, T3 = T[0], T[1], T[2]$

$K1, K2, K3 = 1.5, 1.0, 1.0$

$K_{total} = K1 * K2 * K3$

`print(f"Vaqt doimiylari: T1={T1:.2f}, T2={T2:.2f}, T3={T3:.2f}")`

Dastur zvenolarning vaqt doimiylarini hisoblab beradi:  $T1=5, T2=4, T3=4$ .

Farq tenglamalari asosida imitatsion modellashtirish usuli yordamida boshqarish obyektining o'tish jarayoni egri chizig'ini quramiz. "O'tish jarayoni egri chizig'i" - bu obyektning dinamik xususiyati bo'lib, uning kirish qismiga ixtiyoriy amplitudali pog'onali ta'sir ko'rsatilgandan so'ng, vaqt o'tishi bilan chiqish parametrining qanday o'zgarishini aks ettiradi.

Issiqlik almashtirgichga nisbatan, kirish ta'siri  $G(t)$  pog'onali o'zgarganda qizdirilayotgan issiqlik tashuvchi haroratining o'zgarishi  $\theta(t)$  o'tish jarayoni egri chizig'i deb ataladi.

O'rnatilgan topshiriqqa ko'ra, barqaror statik qiymatga nisbatan kirish ta'sirining og'ish qiymati 9% teng bo'lsin. O'tish jarayoni egri chizig'ini qurishni Eyley usuli bilan A zvenolarning differensial tenglamalarini sonli yechish orqali amalga oshiramiz. Modellashtirish uchun dastlabki qiymatlar va parametrlarni dasturga kiritamiz.

O'tish jarayoni egri chizig'ini qurish uchun alohida tuzilgan qism dasturidan foydalanamiz. Shuni ta'kidlash kerakki, barqaror statik qiymatga nisbatan isituvchi issiqlik tashuvchi sarfining maksimal og'ishi  $G_{max}$  kirish ta'sirining boshlang'ich qiymati deb qabul qilinadi.

### Python dasturi (davomi):

# 2. Koeffitsiyentlar va parametrlar

```
dt = 0,01          # Modellashtirish qadami
N = 10000         # Jarayon egri chizig'ining nuqtalari soni
Qst = 84,97       # Qizdirilgan suv haroratining statik qiymati
Gst = 470,1       # Isituvchi suv sarfining statik qiymati
Gmax = 0,02 * Gst #Maksimal sarf og'ishi
Qdop = 0,09 * Qst #Haroratning ruxsat etilgan og'ishi
t = np.linspace(0, N*dt, N)
```

# 3. Dinamik modellashtirish (o'tish jarayoni egri chizig'i)

```
def f_time(K, T_const, dt, x_in, y_prev):
    return (1 - dt/T_const) * y_prev + K * x_in * (dt/T_const)
y1, y2, y3 = np.zeros(N), np.zeros(N), np.zeros(N)
```

for i in range(N-1):

```
    y1[i+1] = f_time(K1, T1, dt, Gmax, y1[i])
    y2[i+1] = f_time(K2, T2, dt, y1[i+1], y2[i])
    y3[i+1] = f_time(K3, T3, dt, y2[i+1], y3[i])
```

# 4. Chastotali hisoblar (PI-sozlash parametri)

# Vektorli hisob

w = np.arange(0,001, 5, 0,001)

def calc\_Kp\_Ki(m\_val):

```
    s = w * (1j - m_val)          # s = w * (j - m)
    # Uzatish funksiyasi: W(s) = K / ((T1s+1)(T2s+1)(T3s+1))
    W = K_total / ((T1*s + 1) * (T2*s + 1) * (T3*s + 1))
    A = W.real
    B = W.imag
    denom = A**2 + B**2
    Kp = -(m_val * B + A) / denom
    Ki = -((m_val**2 + 1) * w * B) / denom
    return Kp, Ki
```

Kp\_m, Ki\_m = calc\_Kp\_Ki(0,351) # Turg'unlik zaxirasi

Kp\_0, Ki\_0 = calc\_Kp\_Ki(0,0) # Turg'unlik chegarasi

# 5. Grafiklarni ekranga chiqarish

fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2, figsize=(15, 6))

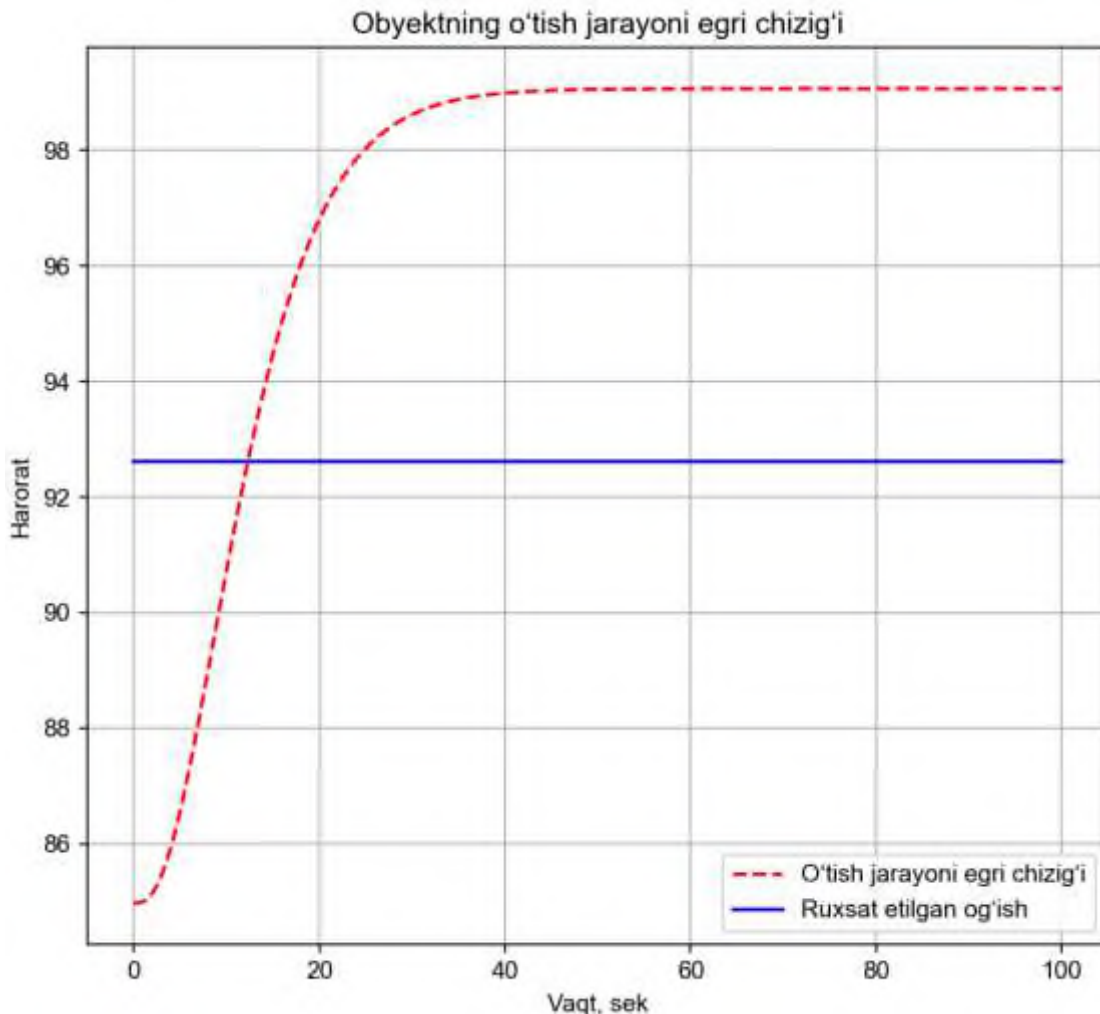
# O'tish jarayoni grafigi

```
ax1.plot(t, y3 + Qst, "r", label='O'tish jarayoni egri chizig'i')
ax1.plot(t, np.full(N, Qst + Qdop), "b", label='Ruxsat etilgan og'ish')
ax1.set_title('Obyektning o'tish jarayoni egri chizig'i')
ax1.set_xlabel('Vaqt, sek')
ax1.set_ylabel('Harorat')
ax1.grid(True); ax1.legend()
```

Yuqorida keltirilgan dasturning qismi tizimning o'tish jarayoni xarakteristikasi (2-rasm)ni qurish uchun hisob ishlarini bajaradi.

Grafikdan ko'rinadiki, isituvchi issiqlik tashuvchining sarfi 9% ga o'zgarganda, isitilayotgan issiqlik tashuvchining harorati oshadi va ruxsat etilgan chegaraviy og'ishdan oshib ketadi.

Buning oldini olish uchun avtomatik rostlash tizimini loyihalash kerak. ARTni loyihalash turli tuzilishdagi rostlagichlarni tanlash, ularni sozlash va tahlil qilishdan iborat. ART ning P-, I- va PI- rostlagichlar bilan ishlashini tahlil qilamiz.



**2-rasm. Tizimning o'tish jarayoni xarakteristikasi.**

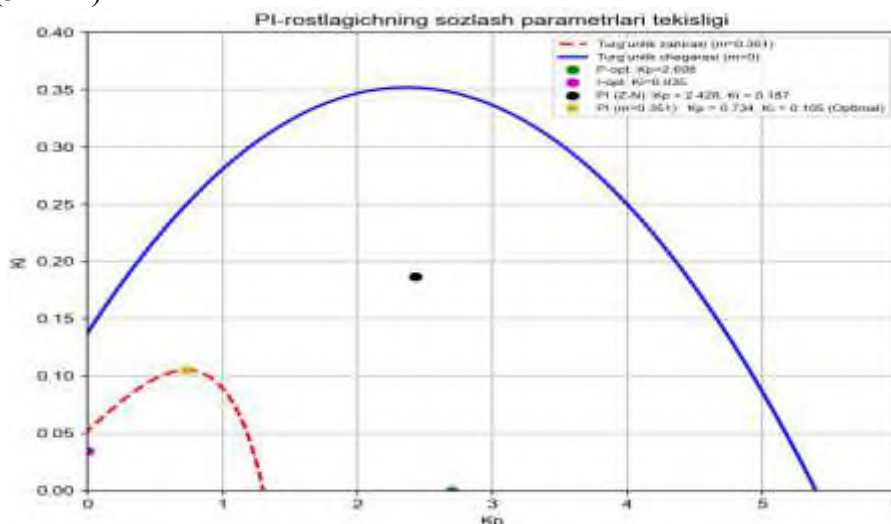
PI-rostlagichning sozlash parametrlari tekisligida turg'unlik chegarasi chizig'ini va berilgan turg'unlik zaxirasi chizig'ini quramiz. P-, I-, PI- rostlagichlarning optimal parametrlarini hisoblash uchun  $m$  tebranishning ildiz ko'rsatkichi bilan cheklangan holda sozlash usulidan foydalanamiz. Buning uchun PI- rostlagichning sozlash parametrlari tekisligida  $[K_p, K_i]$  berilgan  $m$  turg'unlik zaxirasi chizig'ini qurish zarur. Ushbu egri chiziq maksimumining koordinatalari PI-rostlagichning optimal sozlash parametrlari,  $[K_p, 0]$  koordinatali nuqta P-rostlagichning optimal sozlash parametrlari,  $[0, K_i]$  koordinatali nuqta esa I-rostlagichning optimal sozlash parametrlari hisoblanadi.

PI-rostlagichning sozlash parametrlari tekisligida turg'unlik chegarasi chizig'ini quramiz ( $m=0$ ) va berilgan turg'unlik zaxirasi ( $m=0,351$ ):

## Python dasturi

```
# PI-sozlash parametri
ax2.plot(Kp_m, Ki_m, 'r', linewidth=2, label='Turg'unlik zaxirasi (m=0,351)')
ax2.plot(Kp_0, Ki_0, 'b', linewidth=2, label='Turg'unlik chegarasi (m=0)')
ax2.set_title('PI-rostlagichning sozlash parametrlari tekisligi')
ax2.set_xlabel('Kp')
ax2.set_ylabel('Ki')
ax2.set_xlim(0, 6); ax2.set_ylim(0, 0.4)
ax2.grid(True); ax2.legend()
# 6. Kritik parametrlarni aniqlash (Ziegler-Nichols)
# Ki_0 grafigi 0 ga yaqinlashgan joydagi Kp ning qiymati - bu kritik kuchaytirish (K_cr)
# Ki_0 massivida qiymat musbatdan manfiyga o'tadigan chastotani topamiz
idx_cr = np.where(np.diff(np.sign(Ki_0)) < 0)[0]
if len(idx_cr) > 0:
    idx_cr = idx_cr[0]
    K_cr = Kp_0[idx_cr]
    w_cr = w[idx_cr]
    P_cr = 2 * np.pi / w_cr
else:
    # Agar avtomatik topilmasa, chegara uchun taxminiy maksimal Kp ni olamiz
    K_cr = np.max(Kp_0)
    P_cr = 1.0 # Defolt qiymat
# 7. Regulyatorlar uchun optimal parametrlar (Ziegler-Nichols)
# P-rostlagich
Kp_P = 0,5 * K_cr
# I-rostlagich
Ki_I = 0.1 * K_cr / P_cr
# PI-rostlagich
Kp_PI_zn = 0.45 * K_cr
Ki_PI_zn = (1.2 * Kp_PI_zn) / P_cr
# 8. Turg'unlik zaxirasi (m=0.351) bo'yicha optimal PI (Max Ki nuqtasi)
idx_opt_m = np.argmax(Ki_m)
Kp_opt_m = Kp_m[idx_opt_m]
Ki_opt_m = Ki_m[idx_opt_m]
# Natijalarni chiqarish
print("-" * 30)
print("Optimal parametrlar:")
print(f"P-rostlagich: Kp = {Kp_P:.3f}")
print(f"I-rostlagich: Ki = {Ki_I:.3f}")
print(f"PI (Z-N): Kp = {Kp_PI_zn:.3f}, Ki = {Ki_PI_zn:.3f}")
print(f"PI (m=0.351): Kp = {Kp_opt_m:.3f}, Ki = {Ki_opt_m:.3f} (Optimal)")
print("-" * 30)
# 9. Grafikka optimal nuqtalarni qo'yish
ax2.plot(Kp_P, 0, 'go', markersize=6, label=f"P-opt: Kp={Kp_P:.3f}")
ax2.plot(0, Ki_I, 'mo', markersize=6, label=f"I-opt: Ki={Ki_I:.3f}")
ax2.plot(Kp_PI_zn, Ki_PI_zn, 'ko', markersize=6, label=f"PI (Z-N):
Kp = {Kp_PI_zn:.3f}, Ki = {Ki_PI_zn:.3f}")
ax2.plot(Kp_opt_m, Ki_opt_m, 'Xy', markersize=6, label=f"PI (m=0,351): Kp = {Kp_opt_m:.3f},
Ki = {Ki_opt_m:.3f} (Optimal)")
ax2.legend(loc='upper right', fontsize='7')
plt.tight_layout()
plt.show()
```

Dasturdagi hisob ishlari natijasida PI regulyatorning sozlash parametrlari tekisligi hosil bo‘ladi (3-rasm).



3-rasm. PI-regulyatorning parametrlar tekisligi.

Grafikdan ko‘rinadiki (3-rasm), berilgan turg‘unlik zaxirasi ( $m=0,351$ ) chizig‘i (punktirli qizil rangdagi egri chiziq) asosida P-, I- va PI-rostlagichlar uchun quyidagi qiymatlarni aniqlash mumkin:

Regulyator turi	Kp (Proportional)	Ki (Integral)	Izoh
P-regulyator	1.3	0	Ki=0 nuqtadagi kesishish
I- regulyator	0	0,05	Kp=0 nuqtadagi kesishish
PI- regulyator	0,734	0,105	m=0.351 egri chizig‘ining maksimumi

Grafiklarni qurish bilan birga P-, I- va PI-rostlagichlarni sozlashning optimal parametrlarini hisobi ham dastur orqali bajarildi va ilgari keltirilgan shartlar bo‘yicha barqarorlik chegarasidagi PI-rostlagichning parametrlari hisob natijalari quyidagi qiymatlarga teng bo‘ldi:

Regulyatorlarning optimal parametrlari:

P-regulyator:  $K_p = 2,698$

I- regulyator:  $K_i = 0,035$

PI (Z-N):  $K_p = 2,428, K_i = 0,187$

PI ( $m=0.351$ ):  $K_p = 0,734, K_i = 0,105$  (optimal qiymat)

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, ochiq tizimdan farqli o‘laroq, avtomatik rostlagichlar qo‘llanilganda:

- PI-rostlagich haroratning ruxsat etilgan og‘ish chegarasidan oshmasligini ta‘minlaydi va tizimni tezda barqaror statik holatga qaytaradi.

- P-rostlagich qo‘llanilganda qoldiq xatolik (statik xato) kuzatiladi, biroq tizim turg‘unligi yuqori bo‘ladi.

- I-rostlagich xatolikni nolga tushiradi, lekin tizimning ishlash tezligi (dinamikasi) sezilarli darajada sekinlashadi.

Tizimning sifatli ishlashini ta‘minlash uchun regulyatorlarning parametrlarini tanlashda quyidagi usullardan foydalanildi:

D-ajratish usuli:

D-ajratish usuli rostlash tizimining turg‘unlik sohalarini parametrlarning (masalan,  $K_p$  va  $K_i$ ) tekisligida aniqlash imkonini beradi. Ushbu usulning asosi tizimning xarakteristik tenglamasidagi kompleks o‘zgaruvchi  $s$  ning o‘rniga  $s = \omega(j - m)$  ifodasini qo‘yishga tayanadi. Bunda:

-  $m=0$  bo‘lganda, tizimning barqarorlik chegarasi aniqlanadi;

-  $m>0$  (masalan,  $m=0,351$ ) bo‘lganda, tizimning berilgan turg‘unlik zaxirasi va o‘tish jara-yonining tebranishlilik darajasi niqlanadi.

Ushbu usul yordamida  $K_p$  va  $K_i$  parametrlarining bog'liqlik egri chizig'i quriladi. Egri chiziqning maksimum nuqtasi PI-rostlagich uchun eng maqbul (optimal) nuqta hisoblanadi, chunki u berilgan turg'unlik zaxirasini saqlagan holda eng yuqori integral koeffitsiyentini ta'minlaydi.

Ziegler-Nichols usuli:

Ziegler-Nichols usuli rostlagichlarni sozlashning eng keng tarqalgan amaliy usullaridan biri bo'lib, u tizimning kritik holatidagi parametrlariga asoslanadi. Ushbu usulda ikkita asosiy kattalik aniqlanadi:

-kritik kuchaytirish koeffitsiyenti ( $K_{cr}$ ): Tizim barqarorlik chegarasiga yetgandagi ( $m=0$  chizig'ida) rostlagichning kuchaytirish koeffitsiyenti;

-kritik tebranish davri ( $P_{cr}$ ): Barqarorlik chegarasida yuzaga keladigan barqaror tebranishlarning vaqt davomiyligi.

Python dasturida olingan natijalarga ko'ra, issiqlik almashtirgich modeli uchun  $m=0,351$  turg'unlik zaxirasi chizig'i qurildi (3-rasm). Grafik tahlili shuni ko'rsatdiki, D-ajratish usuli bo'yicha PI-regulyatorning optimal parametrlari  $K_p=0,734$  va  $K_i=0,105$  ga teng.

Ziegler-Nichols usuli esa tizimning dinamik xususiyatlarini inobatga olgan holda qo'shimcha tekshiruv nuqtalarini beradi. Bu usul bo'yicha PI-regulyatorning optimal parametrlari  $K_p = 2,428$  va  $K_i = 0,187$ .

Ikkala usulning birgalikda qo'llanilishi rostlash tizimining nafaqat turg'unligini, balki isitilayotgan suv haroratining ruxsat etilgan og'ish chizig'idan oshib ketmasligini ham kafolatlaydi.

### Xulosa

Maqolada taklif qilingan dastur algoritmi Python dasturi kutubxonalari yordamida ABT (ART) xarakteristik tenglamalarining ildizlarini va dinamik parametrlarni aniqlash, raqamli modellashtirish orqali obyektning o'tish jarayoni egri chizig'ini qurish imkonini beradi. Shuningdek, tizim barqarorligini ta'minlash va berilgan sifat ko'rsatkichlariga erishish uchun D-ajratish hamda Ziegler-Nichols usullari yordamida P-, I- va PI-rostlagichlarning optimal parametrlarini hisoblash, olingan natijalarni grafik ko'rinishida ifodalash mumkin bo'ladi. D-ajratish usuli orqali regulyator parametrlarining butun bir sohasini vizuallashtirish imkonini bersa, Ziegler-Nichols usuli aniq hisoblash nuqtalarini taqdim etadi. Ushbu usullar yordamida sintez qilingan ART murakkab issiqlik jarayonlarini samarali boshqarish imkonini beradi.

### Adabiyotlar

- [1] Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. СПб.: Изд-во Профессия, 2003. – 752 с.
- [2] Igamberdiyev X.Z., Sevinov J.U. Boshqarish nazariyasi. OUY lari uchun darslik. -T.: Fan va texnologiya, 2018y. -336 b.
- [3] Маллаев А.Р. Пропорционал-интеграл регуляторни соzлашнинг оптимал параметрларини ҳисоблаш. Инновацион технологиялари., Қарши, 2014, №4(16), 59-64 б.
- [4] Маллаев А.Р., Ражабалиев Б.А. Бошқариш объектларининг динамик харақтеристикаларини узатиш функцияси орқали қуриш. Инновацион технологиялар, Қарши, 2022, №3 (47), 39-43 б.
- [5] Mallayev A.R. Sanoat obyektlarining avtomatik boshqarish tizimi barqarorligini aniqlashning algebraik usullari. Innovatsion texnologiyalar, 2025 y. mart, №1(57), 95-100 b.
- [6] Маллаев, А. Р., & Жураев, А. Х. Техника фанларини ўқитишда замонавий ахборот технологияларни ўрни.
- [7] Juraev, F. D., & Mallaev, A. R. A Model-based approach to multidimensional interpolation problems.
- [8] Mallaev, A., Juraev, F., & Ochilov, M. (2023). Improvement of control models of closed systems using neural networks. Innovatsion texnologiyalar, 51(03), 12-26.
- [9] Маллаев, А. Р., & Жураев, Ф. Д. (2017). Операционная теория исчисления по преобразованию Лапласа. Научное знание современности, (7), 5-16.
- [10] Mallayev, A. R. (2024). Avtomatik boshqarish tizimining " kirish-holat-chiqish " tipidagi dinamik modelining tuzilishi. Academic research in educational sciences, 5(10), 42-51.