

AVTOMATIK BOSHQARISH TIZIMINING "KIRISH-HOLAT-CHIQUISH" TIPIDAGI DINAMIK MODELINING TUZILISHI

Alisher Rajabaliyevich Mallayev

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti dotsenti

yangitong60@gmail.com

ANNOTATSIYA

Maqolada chiziqli avtomatik boshqarish tizimlari va obyektlarning uzatish xossalari matematik ifodasini haqiqiy kirish va chiqish o'zgaruvchilari ifodalanadigan dinamik xarakteristikalaridan foydalanib ifodalash va mavhum chiqish o'zgaruvchilar uchun ifodalanadigan Koshi shaklidagi differensial tenglamalardan foydalanib ifodalash tiplari yoritilgan.

Kalit so'zlar: dinamik modellar tiplari, "kirish-chiqish" va "kirish-holat-chiqish" tipidagi modellar, ISO, fazo holatidagi model, holatlar fazosiga o'tkazish.

THE STRUCTURE OF THE DYNAMIC MODEL OF THE "INPUT-STATE- OUTPUT" AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

ABSTRACT

The article describes the mathematical expression of transmission properties of objects of linear automatic control systems using dynamic characteristics represented by real input and output variables and the types of Koshi differential equations represented by abstract output variables.

Keywords: dynamic model types, input-output and input-state-output models, ISO, state-space model, state-space representation.

KIRISH

Obyekt va boshqarish tizimlarining dinamik modellarini ikkita asosiy tipga bo'lish mumkin: "kirish-chiqish" va "kirish-holat-chiqish". "Kirish-holat-chiqish" tipidagi model fazo holatidagi model deb ham yuritiladi.

"Kirish-chiqish" tipdagi dinamik modellar chiziqli differensial tenglamalar bilan ifodalanadi. Obyektlarning differensial tenglamalaridan uzatish funksiyalarini aniqlash uchun Laplas (Fure) tasvir almashinish operatorlari qo'llaniladi. Differensial tenglamalar va ularning tasvirlari orqali alohida zvenolar va tizimlarning dinamik va chastotali xarakteristikalarini qurish mumkin.

Obyekt va boshqarish tizimlarining dinamik modellarini fazo holatidagi modelida kirish va chiqish signallaridan tashqari



dinamik tizimning boshlang'ich holati ham o'zgaruvchilar vektori (to'plami) orqali ifodalanadi.

Boshqaruv nazariyasida dinamik tizimlarni tavsiflash uchun "kirish-holat-chiqish" yoki "input-state-output" (ISO) turdagi modellar tizimga kiradigan ta'sirlar, tizimning ichki holatlari va chiqish qiymatlari haqidagi ma'lumotlarni o'z ichiga oladi. Bu esa ularni faqat kirish va chiqishni tavsiflovchi modellarga nisbatan batafsil ifodalaydi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

Muammoni qo'yilishi

Har qanday chiziqli bo'lgan ko'p o'lchamli obyektlarning uzatish xossalari matematik ifodasini haqiqiy kirish va chiqish o'zgaruvchilari ifodalanadigan dinamik xarakteristikalar (differensial tenglamalar, vaqt xarakteristikalar, uzatish va chastotali funksiyalar)dan foydalanib ifodalash (bunda, obyekt "kirish-chiqish" ko'rinishida ifodalanadi) mumkin. Lekin, bu tipdagi modellar tizim yoki obyektning kelajakdagi holatini aniqlash imkonini bermaydi.

Masalani yechishning nazariy qismi

"Kirish-holat-chiqish" modellarining asosiy tushunchalari

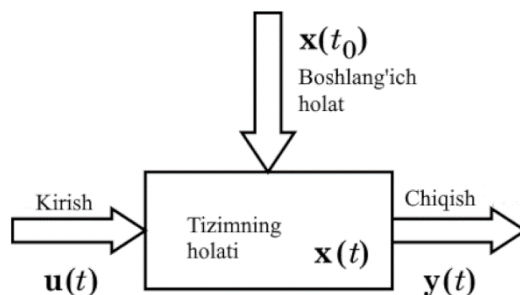
1. **Kirish (Input, u):** Tizimga ta'sir qiluvchi kirish ma'lumotlari. Bular turli boshqaruvchi signallar yoki tashqi ta'sirlar bo'lishi mumkin.
2. **Holat (State, x):** Tizimning joriy holati va dinamikasini to'liq tavsiflovchi ichki holati. Holatlar odatda birinchi tartibli tenglamalar to'plami bilan aniqlanadi.
3. **Chiqish (Output, y):** Tizimning kiruvchi ta'sirlarga reaksiyasi. Chiqish o'lchangan parametr yoki tizimning istalgan xatti-harakati bo'lishi mumkin.

Tizim yoki obyektning kelajakdagi holati haqida ma'lumotga va chiqish o'zgaruvchisini aniqlash imkoniga ega bo'lish fazo holatdagi model tipidan foydalanish zaruriyatini yuzaga keltiradi. Obyektning fazo holatdagi model orqali ifodalash usulini ham chiziqli, ham chiziqli bo'lmagan tizimlarga qo'llash mumkin.

Ta'rif: Tizimning holati – ma'lum bir o'zgaruvchilar to'plami bo'lib, ularni bilish tizimning dinamikasini tavsiflovchi kirish o'zgaruvchilari, funksiyalari va tenglamalari haqidagi ma'lumotlar bilan birgalikda uning kelajakdagi holatini va chiqish o'zgaruvchisini aniqlashga imkon beradi (1960-y. Kalman)[1,2].

"Kirish-holat-chiqish" modellarining tuzilishi

Dinamik tizimning holati vektor yoki holat o'zgaruvchilari to'plami $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_n(t)$ bilan ifodalanadi va bu to'plam, agar tizimning hozirgi holati va barcha tashqi ta'sirlar ma'lum bo'lsa, tizimning kelajakdagi harakati (holati)ni belgilaydi.

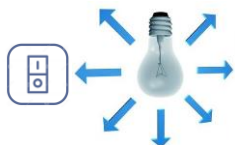


1-rasm. Kirish va chiqish parametrlari berilgan tizim.

Chiqish o'zgaruvchilari vektori - $y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t))$ va kirish o'zgaruvchilari vektori $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_r(t))$ bo'lgan tizimni ko'rib chiqamiz (1-rasm).

Berilgan tizim uchun $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ holat o'zgaruvchilari vektori quyidagi ma'noga ega: agar boshlang'ich moment t_0 da $x(t_0) = (x_1(t_0), x_2(t_0), \dots, x_n(t_0))$ qiymatlari va $t > t_0$ uchun kirish o'zgaruvchilari $u_1(t), u_2(t), \dots, u_r(t)$ aniq bo'lsa, u holda bu ma'lumot barcha holat o'zgaruvchilari $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ va $t > t_0$ bo'lganda chiqish o'zgaruvchilari $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$ ning kelajakdagi qiymatlarini aniqlash uchun etarli.

Masalan, ikkita, "yoqilgan" yoki "o'chirilgan", qiymatdan biriga teng bo'lgan lampochkaning vklyuchatelining holati holat o'zgaruvchisi bo'lishi mumkin (2-rasm). Agar biz t_0 vaqtda vklyuchatel qanday holatda ekanligini bilsak va unga tashqi ta'sir qilinsa, u holda obyektning kelajakdagi holatini aniq aniqlashimiz mumkin.



2-rasm.

Matematik jihatdan "Kirish-holat-chiqish", ya'ni ISO modellari quyidagi tenglamalar bilan tavsiflanadi:

1. Holat tenglamalari

$$\dot{x}_1(t) = Ax(t) + Bu(t),$$

bu yerda:

- • $x(t)$ - holat vektori,
- • $u(t)$ - kirish vektori,
- • A - holat matritsasi (o'lchamlari $n \times n$),
- • B - kirish matritsasi (o'lchamlari $n \times m$).

2. Chiqish tenglamasi:

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

bu yerda:

- $y(t)$ - chiqish vektori,
- C - chiqish matritsasi (o'lchamlari $p \times n$),
- D - to'g'ri ko'chirish matritsasi (o'lchamlari $p \times m$).

ISO modellarini qo'llash

"Kirish-holat-chiqish" tipidagi modellar avtomatik boshqarish tizimlarini, identifikatsiyalash va jarayonlarni modellashtirish tizimlarini tahlil qilish va sintezlash uchun ishlatiladi. Ular quyidagi sohalarda qo'llaniladi:

1. **Harakatni boshqarish va robototexnika:** robotlar, dronlar va transport vositalarining kirish signallarini (boshqarish) va ichki holati (vaziyat, tezlik)ni hisobga olgan holda ularning dinamikasini tavsiflashga imkon beradi.
2. **Elektr va energetik tizimlar:** Elektr zanjirlari, generatorlar va o'zgartirgichlarning kirish ta'sirlari va ichki holatlarini hisobga olgan holda harakatini tavsiflaydi.
3. **Kimyoviy va biologik jarayonlar:** Kimyoviy reaktorlar va biologik tizimlardagi reaksiya va jarayonlarni modellashtirishda qo'llaniladi.
4. **Iqtisodiyot va moliya:** Moliyaviy vositalar va iqtisodiy tizimlarning xatti-harakatlarini turli xil kirish ta'sirlari va bozor holatlarini hisobga olgan holda tavsiflay oladi.

NATIJALAR

"Kirish-chiqish" modelini ISO modeliga o'tkazish jarayoni [2]

1. **Uzatish funksiyasi:** Dastlab tizimni kirish signali $U(s)$ va chiqish signali $Y(s)$ ni bog'lovchi $G(s)$ uzatish funksiyasi orqali tavsiflab olamiz:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

2. **Uzatish funksiyasining umumiy ko'rinishi:**

$$G(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}$$

bu yerda:

- b_i va a_i - ko'phadlarning koeffitsiyentlari.
 - n – tizimning tartibi, ya'ni maxrajning darajasi.
 - m - suratning darajasi (odatda $m \leq n$).
3. **Holat vektorlarini tanlash:** $x(t)$ holat vektori shunday tanlanadiki, uning tarkibiy qismlari tizimning dinamikasini ifodalovchi o'zgaruvchilardan tashkil topsin. Odatda, chiziqli tizimlar uchun quyidagilar tanlanadi:

$$x_1 = y, \quad x_2 = \dot{y}, \quad x_3 = \ddot{y}, \dots, \quad x_n = y^{(n-1)}$$

4. Holat tenglamalari: Holat tenglamalari tizimning ichki holatining o'zgarishi (rivojlanishi)ni tasvirlaydi. Ular quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

bu yerda:

- $x(t)$ — holat vektori (o'lchami $n \times 1$),
- A — holat matritsasi (o'lchami $n \times n$),
- B — kirish matritsasi (o'lchami $n \times 1$),
- C — chiqish matritsasi (o'lchami $1 \times n$),
- D — to'g'ridan-to'g'ri o'tkazish matritsasi (o'lchami 1×1).

Uzatish funksiyasini holat tenglamalariga o'tkazishga doir misol [3,4]

Ikkinchi darajali o'tkazish funksiyasini ko'rib chiqaylik:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{2s + 3}{s^2 + 4s + 5}$$

1. Differensial tenglamaning yozilishi:

Uzatish funksiyasi vaqt sohasidagi quyidagi differensial tenglamaga mos keladi:

$$s^2Y(s) + 4sY(s) + 5Y(s) = 2sU(s) + 3U(s)$$

Vaqt sohasiga o'tganimizda, quyidagi natijani olamiz:

$$\ddot{y}(t) + 4\dot{y}(t) + 5y(t) = 2\dot{u}(t) + 3u(t)$$

2. Holat o'zgaruvchilarini aniqlaymiz:

Faraz qilaylik:

$$x_1 = y(t)$$

$$x_2 = \dot{y}(t)$$

Unda:

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \ddot{y}(t)$$

3. Holat tenglamalari:

Dastlabki tenglamadan foydalanib \dot{x}_2 ni quyidagicha ifodalashimiz mumkin:

$$\dot{x}_2 = 2\dot{u}(t) + 3u(t) - 4\dot{y}(t) - 5y(t)$$

Holat o'zgaruvchilari atamalarida x_1 va x_2 :

$$\dot{x}_2 = 2\dot{u}(t) + 3u(t) - 4x_2 - 5x_1$$

Shunday qilib, quyidagi holat tenglamalari tizimiga ega bo‘lamiz:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -5x_1 - 4x_2 + 2\dot{u}(t) + 3u(t) \end{cases}$$

Odatda tenglamani soddalashtirish uchun $u(t)$ kirish signalining hosilasini o‘z ichiga olgan yangi o‘zgaruvchi kiritiladi.

4. Holat matritsasi:

Agar $u(t)$ hosilasisiz standart shaklda ifodalansa, holat tenglamalari quyidagicha ko‘rinishga ega bo‘ladi:

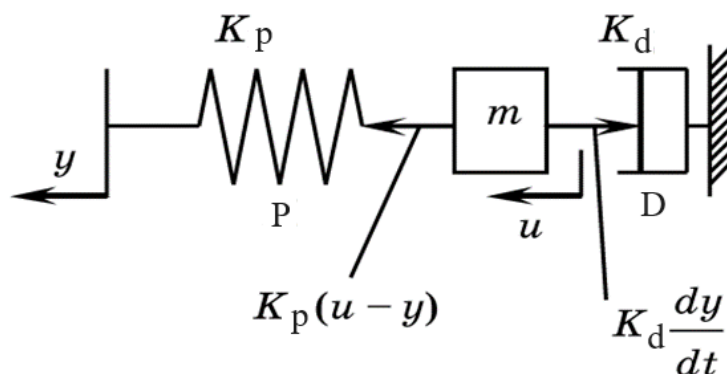
$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -5 & -4 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \end{bmatrix} u$$

$$y = [1 \quad 0] x + [0] u$$

A, B, C va D matritsalarini tizimning holat tenglamalarini ifodalaydi. Bu jarayonni har qanday tartibdagi tizimlar uchun takrorlash mumkin.

Mexanik obyektning modelini ko‘rib chiqamiz (3-rasm). Obyekt uchun Nyutonning ikkinchi qonuni:

$$\sum_i F_i = ma = m \frac{d^2y}{dt^2} \quad (1)$$



3-rasm. Massaning chiziqli harakatini ifodalovchi mexanik tizim.

Tarkibida siqilish koeffitsiyenti K_p bo‘lgan prujina (P) va dempferlash koeffitsiyenti K_d bo‘lgan dempfer (D) mavjud m massaning chiziqli harakati uchun differensial tenglamani Nyutonning yuqorida keltirilgan formulasi (1) dan foydalanib aniqlaymiz:

$$K_p(u - y) - K_d \frac{dy}{dt} = m \frac{d^2y}{dt^2}, \quad (2)$$

yoki differensial tenglama ko‘rinishida

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + K_d \frac{dy}{dt} + K_p y = K_p u. \quad (3)$$

Hosil bo'lgan differensial tenglama (3) ning Laplas tasviri:

$$W(p) = \frac{K_p}{mp^2 + K_d p + K_p}.$$

Bu ifoda tizimning chiqishdagi reaksiyasi $y(t)$ ning tizimning kirishidagi $x(t)$ ta'sirga bog'liqligini ifodalaydi. Agar massaning tezligi to'g'risida ma'lumot talab etilsa, holat o'zgaruvchilari yordamida tizimni ifodalash usulidan foydalaniladi. Buning uchun, quyidagi o'zgaruvchilarni belgilab olamiz:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= y(t); \\ x_2(t) &= \frac{dy(t)}{dt} = \frac{dx_1(t)}{dt} = \dot{y}(t) = \dot{x}_1(t), \end{aligned}$$

bu yerda, $x_1(t)$ - massaning holati, $x_2(t)$ - massaning tezligi.

Kiritilgan belgilashlardan foydalanib yuqoridagi (3) ifodani holat o'zgaruvchilari orqali ifodalaymiz:

$$m\dot{x}_2(t) + K_d x_2(t) + K_p x_1(t) = K_p u. \quad (4)$$

Hosil bo'lgan differensial tenglama (4)ni ikkita birinchi tartibli differensial tenglamalarning ekvivalent tizimi sifatida yozish mumkin:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t), \\ \dot{x}_2(t) &= -\frac{K_p}{m} x_1(t) - \frac{K_d}{m} x_2(t) + \frac{K_p}{m} u(t), \\ y(t) &= x_1(t). \end{aligned}$$

Hosil bo'lganlarni matritsa ko'rishida ifodalaymiz.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{K_p}{m} & -\frac{K_d}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_p}{m} \end{bmatrix} u, \\ y &= [1 \ 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Chiziqli statsionar uzluksiz tizimning holat tenglamalarining standart shakli quyidagi ko'rinishga ega:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t). \end{aligned}$$

$\dot{x}(t)$, $x(t)$ – $(nx1)$ o'lchamdagi holat o'zgaruvchilari vektori;

A - (nxn) o'lchamdagi tizimning holatini ifodalovchi koeffitsiyentlar matritsasi;

B- (nrx) o'lchamdagi kirish o'zgaruvchilari matritsasi;

$u(t)$ - $(rx1)$ o'lchamdagi tizimning kirishiga uzatilgan ta'sirlar vektori;

$y(t)$ - ($px1$) o'lchamdagi tizimning chiqishidagi reaksiyalar vektori;

C - (pxn) o'lchamdagi chiqishdagi koeffitsiyentlar matritsasi;

D - (pxr) o'lchamdagi, chiqishning kirishga bevosita bog'liqligini aniqlovchi o'tish matritsasi.

Obyektning uzatish funksiyasi quyidagicha berilgan bo'lsin:

$$W(p) = \frac{p^2 + 6p + 12}{p^3 + 18p^2 + 36p + 48}$$

MATLAB dasturiy kompleksidan foydalanib obyektning "kirish-holat-chiqish" tipidagi, ya'ni, fazo holatidagi modelini aniqlaymiz.

```
>> w=tf([1,6,12],[1,18,36,48])
```

```
>> w1=ss(w)
```

Javoblar:

```
>> w
```

Transfer function:

$$s^2 + 6s + 12$$

 $s^3 + 18s^2 + 36s + 48$

```
a=   x1   x2   x3
x1  -18  -4.5  -3
x2   8    0    0
x3   0    2    0
```

```
b=   u1
x1   2
x2   0
x3   0
```

```
c=   x1   x2   x3
y1  0.5  0.375  0.375
```

```
d=   u1
y1   0
```

Hosil bo'lgan fazo holatidagi modeldan foydalanib MATLAB dasturiy kompleksi orqali obyektning uzatish funksiyasini ham aniqlash mumkin.

```
>> A=[-18, -4.5, -3; 8,0,0; 0,2,0];
```

```
>> B=[2;0;0];
```

```
>> C=[0.5,0.375, 0.375];
```


>> $D=0$;

>> $w=ss(A,B,C,D)$;

>> $w1=tf(w)$

Javob:

Transfer function:

$$s^2 + 6s + 12$$

$$s^3 + 18s^2 + 36s + 48$$

Obyektning uzatish funksiyasi bilan fazo holatidagi tenglamasi o'rtasida bog'liqlikni quyidagicha ifodalash mumkin. "Kirish-holat-chiqish" ko'rinishida ifodalangan holat tenglamasi berilgan bo'lsin:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t),$$

$$y(t) = Cx(t).$$

Laplas tasvir almashinish operatoridan foydalanib quyidagi hosil qilinadi:

$$pX(p) = AX(p) + BU(p),$$

$$Y(p) = CX(p).$$

Hosil bo'lgan ifodadan quyidagilarni hisoblaymiz:

$$(pI - A)X(p) = BU(p),$$

$$X(p) = \frac{BU(p)}{(pI - A)} = \Phi(p)BU(p),$$

bu yerda $(pI - A)^{-1} = \Phi(p)$.

Hosil bo'lgan $X(p)$ dan foydalanib chiqish signali $Y(p)$ ni hisoblaymiz:

$$Y(p) = CX(p) = C\Phi(p)BU(p).$$

Ma'lumki, tizim (obyekt)ning uzatish funksiyasi $W(p) = \frac{Y(p)}{U(p)}$ ekanligini hisobga olsak, unda:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = C\Phi(p)B.$$

MUHOKAMA

"Kirish-holat-chiqish" (ISO) modellari quyidagi afzalliklarga ega:

1. **Tizimning to'liq tavsifi:** ISO modellari tizimning ham tashqi, ham ichki xususiyatlarini tavsiflash imkonini beradi. Bu esa ularni murakkab tizimlarni boshqarish va tahlil qilishda samaradorligini bildiradi.

2. **Tahlil qilishdagi qulaylik:** Ushbu modellar yordamida chiziqli algebra va boshqaruv nazariyasi usullari yordamida tizimni samarali tahlil qilish mumkin. Bu esa turg'unlik,

boshqaruvchanlik va kuzatuvchanlikni hisoblash kabi jarayonlarni osonlik bilan amalga oshirish imkonini beradi.

3. Modellashtirish uchun qulaylik: ISO modellari MATLAB/Simulink kabi aksariyat zamonaviy modellashtirish dasturiy paketlaridan foydalanib, modellarni yaratish va tahlil qilishni soddalashtiradi. Kirish-chiqish" turdagi modeldan "Kirish-holat-chiqish" turdagi modelga o'tish uchun MATLAB dasturiy kompleksidan foydalanib tizim (obyekt)ning uzatish funksiyasi ko'rinishidagi modeli orqali fazo holatidagi modeli aniqlanadi va ixtiyoriy holatga nisbatan obyektни tahlil qilish mumkin bo'ladi. Natijada tizimning dinamikasini tavsiflovchi kirish o'zgaruvchilari, funksiyalari va tenglamalari haqidagi ma'lumotlar bilan birgalikda uning kelajakdagi holatini va chiqish o'zgaruvchisini aniqlash imkoniga ega bo'lamiz.

XULOSA

"Kirish-holat-chiqish" (ISO) turdagi modellar dinamik tizimlarni tasvirlash va tahlil qilish uchun kuchli vosita hisoblanadi. Ular muhandislikdan tortib iqtisodiyotgacha bo'lgan turli sohalarda qo'llaniladi va murakkab jarayonlarni modellashtirish imkonini beradi. Bu modellar tizimning tashqi ta'sirlarini ham, ichki holatlarini ham hisobga oladi.

"Kirish-chiqish" turdagi modelni fazaviy holatning dinamik modeliga (holat tenglamasiga) o'tkazish jarayoni tizimning uzatish funksiyasini yoki kirish va chiqishlarni bog'lovchi tenglamani tizimning ichki holatlari dinamikasini tavsiflovchi differensial tenglamalar tizimiga aylantirish nazarda tutiladi. Bu jarayon model holatlar fazosiga o'tkazish (state-space representation) deb ataladi.

REFERENCES

1. Кудинов Ю. И., Пащенко Ф. Ф. (2016) Теория автоматического управления (с использованием MATLAB — SIMULINK): Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 256с.
2. Igamberdiyev X.Z., Sevinov J.U. (2018) Boshqarish nazariyasi. OUY lari uchun darslik. -T.: "Fan va texnologiya", 336b.
3. Маллаев А.Р. (2012) MATLAB пакетида чизиқли автоматик бошқариш тизимларининг турғунлигини аниқлаш. Инновацион технологиялар. 3, 13-18
4. Juraev, F. D., Mallaev, A. R., Aralov, G. M., Ibragimov, B. S., & Ibragimov, I. (2023). Algorithms for improving the process of modeling complex systems based on big data: On the example of regional agricultural production. In E3S Web of Conferences (Vol. 392, p. 01050). EDP Sciences.

