ADAPTIV NOQAT'IY XULOSALASH YORDAMIDA TIZIMINING NOCHIZIQLILIGINI KORREKSIYALASH

Avezov To'xtamurod Hayitmurodovich
Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti Dotsent
E-mail: Murrodxa@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada adaptiv noqat'iy xulosalash yordamida murakkab dinamik obyektni boshqarish tizimining nochiziqliligini korreksiyalash masalalari ko'rib chiqilgan. Murakkab obyektli boshqaruv tizimining aniqligini ta'minlash uchun nochiziqlik parametrlarini uzluksiz tarzda korreksiyalash zarur. Bunday jarayonni boshqarish uchun noqat'iy mantiqqa asoslangan korrektlovchi nochiziqli element sintezlashi tadqiq etildi. Taklif etilgan yondashuvning samaradorligi Matlab muhandislik va ixtisoslashtirilgan hisoblash paketining Simulink dasturiy muhitida tekshirildi. Taklif etilayotgan usul bo'yicha ushbu nochiziqlilikni kompensatsiya qilish uchun noqati'y mantiq rostlagichini bosqichma-bosqich sintezini amalga oshirildi.

Kalit so'zlar: Nochiziqlilikni korreksiyalash, noqat'iy rostlagich, noqat'iy boshqarish tizimi, noqat'iy mantiqiy xulosalash, nochiziqli element, adaptiv noqat'iy xulosalash, model.

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы коррекции нелинейности системы управления сложным динамическим объектом с использованием адаптивного нечеткого вывода. Для обеспечения точности системы управления сложным объектом необходимо непрерывно корректировать параметры нелинейности. Для управления таким процессом исследован синтез корректирующего нелинейного элемента на основе нечеткой логики. Эффективность предлагаемого подхода проверена в программной среде Simulink инженерно-специализированного вычислительного пакета Matlab. Согласно предложенному методу осуществлен пошаговый синтез нечетко-логического корректора, компенсирующего указанную нелинейность.

Ключевые слова: Коррекция нелинейности, нечеткий регулятор, нечеткая система управления, нечеткий логический вывод, нелинейный элемент, адаптивный нечеткий вывод, модель.

Annotation: The article considers the issues of nonlinearity correction of the control system of a complex dynamic object using adaptive fuzzy inference. To ensure the accuracy of the control system of a complex object, it is necessary to continuously correct the nonlinearity parameters. To control such a process, the synthesis of a correcting nonlinear element based on fuzzy logic is studied. The effectiveness of the proposed approach is tested in the Simulink software environment of the engineering-specialized computing package Matlab. According

ISSN 3030-3907

to the proposed method, a step-by-step synthesis of a fuzzy-logical corrector is carried out, compensating for the specified nonlinearity.

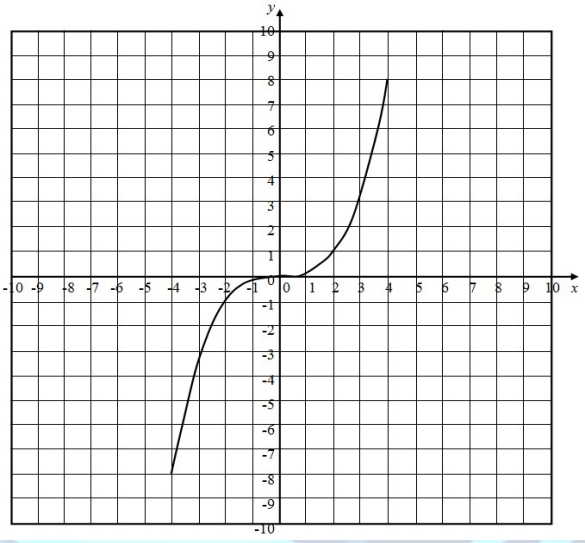
Keywords: Nonlinearity correction, fuzzy controller, fuzzy control system, fuzzy logic inference, nonlinear element, adaptive fuzzy inference, model.

Kirish

Murakkab dinamik ob'ektlarni boshqarish tizimlari zamonaviy avtomatlashtirish va intellektual boshqaruv nazariyasining eng dolzarb yo'nalishlaridan biridir. Bunday ob'ektlarning asosiy xususiyati - modelning kuchli nochiziqligi, parametrlarning o'zgaruvchanligi va tashqi ta'sirlarga yuqori sezuvchanligidir [1, 2]. Shuning uchun adaptiv noqati'y boshqaruv asosida yondashuvlar, xususan, adaptiv noqat'iy xulosaga asoslangan boshqaruv algoritmlari keng tarqaldi. Murakkab tizimlarning matematik modelini aniq differensial tenglamalar orqali ifodalash qiyin bo'lgan hollarda noqat'iy xulosalash qo'llaniladi. Shu bois, adaptiv noqatiy xulosalash algoritmlarini qo'llash orqali tizimning real vaqtda o'zgaruvchan parametrlariga moslashish, noaniqliklarni minimallashtirish hamda boshqaruv sifatini yaxshilash imkonini beradi [3, 4]. Mazkur ishda murakkab dinamik obyektlarni boshqarishda yuzaga keladigan nochiziqlilikni adaptiv noqatiy xulosalash usullari yordamida korreksiyalash masalasi ko'rib chiqiladi [5]. Taklif etilayotgan yondashuv orqali boshqaruv tizimining aniqligi, barqarorligi, teskorligi va adaptivligi oshirilishi masalalari ko'rildi.

Dastlabki ma'lumotlar va modellar

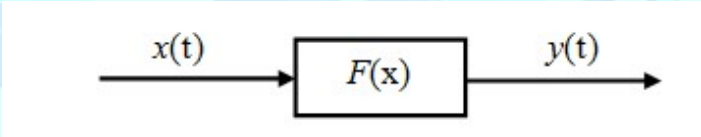
Matlab muhandislik va ixtisoslashtirilgan hisoblash paketining Simulink muhitida induksion elektromexanik burchak o'zgartirgichlariga xos xususiyatli (gisterezis) statik xarakteristikaga ega (1-rasm) bo'lgan nochiziqli element modeli tuzildi [6, 7].



1-rasm. Nochiziqli element modeli

ISSN 3030-3907

Ushbu elementni o‘z ichiga olgan elementar nochiziqli tizimning strukturaviy sxemasi 2-rasmda keltirilgan, bu yerda F(x) 1-rasmda ko‘rsatilgan statik xarakteristikaga ega nochiziqli elementni tavsiflovchi aprior analitik tarzda aniqlanmagan funksiyadir [8, 9].



2-rasm. Elementar nochiziqli tizimning struktura sxemasi

MUHOKAMA VA NATIJALAR

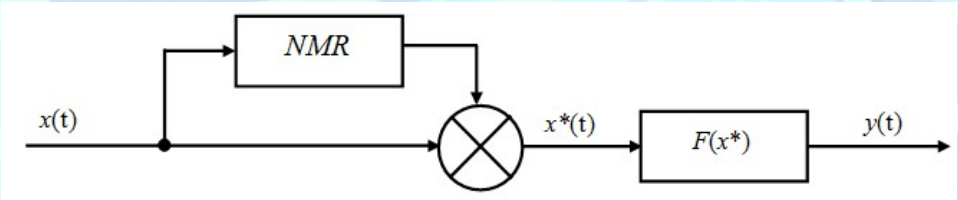
Taklif etilayotgan usul bo‘yicha ushbu nochiziqlilikni kompensatsiya qilish uchun noqat’iy mantiqiy rostlagich (NMR) ni bosqichma-bosqich sintezini amalga oshiramiz.

Birinchi bosqich. Faraz qilaylik, tizimdagi (2-rasmdagi) nochiziqlilikni kompensatsiyalash talab qilingan. Bunda sistemaning chiqish signali y(t) ning kirishi x(t) dan o‘rtacha kvadratik og‘ishi 0,1 dan oshmasligi lozim [10].

Ikkinchi bosqich. Bu holatda, kompensatsiyalash ta’sirlarini berish uchun ko‘rib chiqilgan variantlarning ixtiyoriy har birini amalga oshirish mumkin.

Uchinchi bosqich. Optimal variant sifatida birinchi kompensatsiyalash variantini tanlaymiz.

To‘rtinchi bosqich. Ctatik xarakteristikani olamiz (2-rasm). Har bir kirish signalining qiymatiga faqat bitta chiqish signalining qiymati to‘g‘ri kelganligi sababli, statik xarakteristika bir qiymatlidir. Yuqoridagilardan kelib chiqib, NMR ning kirish signali sifatida tizimning kirish signalidan foydalanamiz. U holda kompensatsiyalangan tizimning sxemasi quyidagicha ko‘rinishga ega bo‘ladi:



3-rasm. Kompensatsiyalangan tizimning sxemasi

Beshinchi bosqich. Taklif qilingan algoritm bo‘yicha NMRning modelini quramiz.

1. Nochiziqlilik bir qiymatli bo‘lgani uchun uning statik xarakteristikasini qo‘shimcha bir qiymatli qismlarga bo‘lish talab etilmaydi.

2. Kirish va chiqish signallari o‘rtasidagi nomuvofiqlik asosida termlarning taqsimlanishini shakllantiramiz. Statik xarakteristika koordinatalar tizimini (1) formulalar bo‘yicha o‘zgartiramiz.

ISSN 3030-3907

$$\begin{cases} x = x_1 \cos\left(-\frac{\pi}{4}\right) - y_1 \sin\left(-\frac{\pi}{4}\right), \\ y = x_1 \sin\left(-\frac{\pi}{4}\right) - y_1 \cos\left(-\frac{\pi}{4}\right), \end{cases} \quad (1)$$

x va y - yangi koordinatalar sistemasidagi statik xarakteristika nuqtalarining abssissa va ordinatasi.

Yangi koordinatalar tizimida statik xarakteristikaning abscissa o‘qi bilan kesishish nuqtalarini topamiz: (- 4; 0), (0; 0), (4; 0). Statik xarakteristikaning ekstremum nuqtalari: (1,5396; - 0,7698), (- 1,5396; 0,7698). Formula (2)ga muvofiq, aniqlangan nuqtalarning boshlang‘ich koordinata tizimidagi ko‘rinishi quyidagicha: (-2,8284; -2,8284), (0; 0), (2,8284; 2,8284), (4,430; 0,5443), (-4,430 ; -0,5443).

3. Kirish o‘zgaruvchisining termlarini aniqlaymiz. Buning uchun statik xarakteristikaning o‘ng chetki va chap chetki nuqtalarining abssissalarini topamiz: 4 va - 4. Formula (2) orqali olingan abssissalarni hisobga olgan holda, quyidagi abssissalar qatori hosil bo‘ladi:

$$\begin{cases} x_1 = x\cos\frac{\pi}{4} - y\sin\frac{\pi}{4}, \\ y = x\sin\frac{\pi}{4} + y\cos\frac{\pi}{4}. \end{cases} \quad (2)$$

4, - 4, - 2.8284, 0, 2.8284, 4.430, - 4.430.

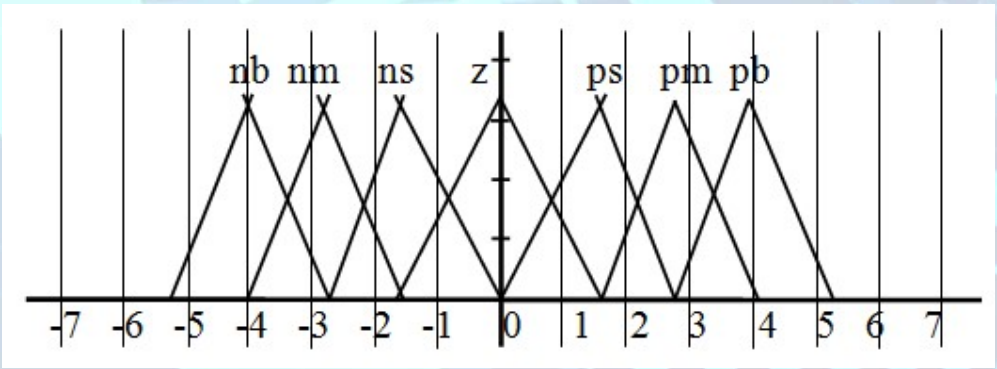
Qulay bo‘lishi uchun uni tartiblaymiz:

- 4, - 2.8284, - 4.430, 0, 4.430, 2.8284,4.

Shu tariqa, kirish o‘zgaruvchisi term-to‘plamlari cho‘qqilarining koordinatalariga ega bo‘ldik, ularni mos ravishda quyidagicha nomlaymiz.

nb, nm, ns, z, ps, pm, pb

Metodikada berilgan tavsiyalarga ko‘ra kirish o‘zgaruvchisi term-to‘plamlarining taqsimotini quyidagi tarzda olamiz:



4-rasm. Kirish o‘zgaruvchilari term-to‘plamining taqsimoti

ISSN 3030-3907

4. Buning uchun 3-band bo‘yicha SX nuqtalari abssissalari uchun quyidagi amal bajariladi: har bir nuqta uchun, uning abssisasiga teng bo‘lgan ordinataga ega SX nuqtasining abssissasi bilan ushbu nuqtaning abssissasi orasidagi farq hisoblanadi.Masalan, (-4; -8) nuqta uchun nuqta abssissasi (- 3,1748; -4) va nuqta abssissasi (- 4; - 8) lara o‘rtasidagi farqni topamiz, ya’ni:-3.1748-(-4) = 0.8252. Xuddi shunday har bir nuqta uchun shu tarzda hisoblanadi. Natijada quyidagi qiymatlar qatorini olamiz: 0.8252, 0, - 0.7222, 0, 0.7222, 0, - 0.8252. Bu qator beshta turli sondan iborat: -0.8252, -0.7222, 0, 0.7222 va 0.8252. Ular chiqish o‘zgaruvchisining termlarini belgilaydi. Noqat’iy xulosalash algoritmi sifatida Sugeno algoritmi tanlaymiz. Aniqlik kiritish uchun olingan termlarni quyidagicha nomlaymiz: nb = - 0.8252, ns = - 0.7222, z = 0, ps = 0.7222, pb = 0.8252.

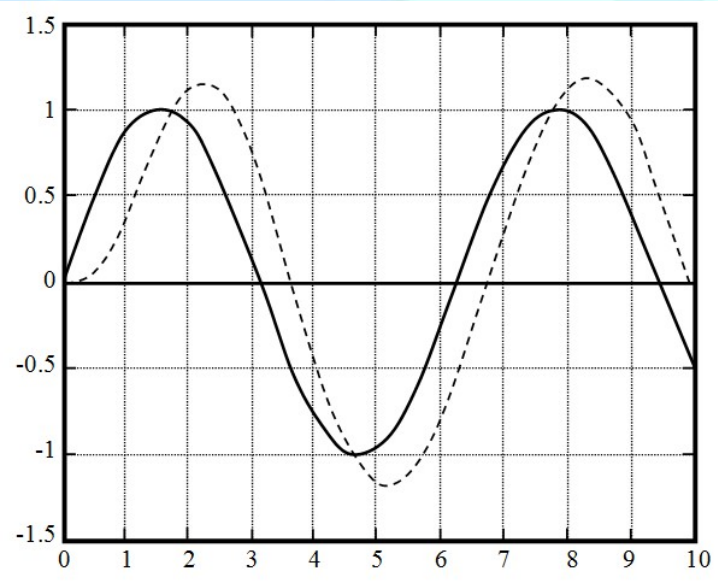
Kirish va chiqish o‘zgaruvchilarini nomlaymiz. Kirish o‘zgaruvchisi In va chiqish o‘zgaruvchisi Out bo‘lsin. 2-4-punktlarda olingan natijalardan foydalanib va 4-rasmga muvofiq qoidalar bazasini yaratamiz: Kirish va chiqish o‘zgaruvchilarini nomlab olamiz. Kirish o‘zgaruvchisi In va chiqish o‘zgaruvchisi Out bo‘lsin. 2-4-punktlarda olingan natijalardan foydalanib qoidalar bazasini yaratamiz:

AGAR In qiymati nb bo‘lsa, U HOLDA Out qiymati pb bo‘lsin;
AGAR In qiymati nm bo‘lsa, U HOLDA Out qiymati z bo‘lsin;
AGAR In qiymati ns bo‘lsa, U HOLDA Out qiymati ns bo‘lsin;
AGAR In qiymati z bo‘lsa, U HOLDA Out qiymati z bo‘lsin;
AGAR In qiymati ps bo‘lsa, U HOLDA Out qiymati ps bo‘lsin;
AGAR In qiymati pm bo‘lsa, U HOLDA Out qiymati z bo‘lsin;
AGAR In qiymati pb bo‘lsa, U HOLDA Out qiymati nb bo‘lsin.

Neyro-noqat’iy mantiq orqali identifikatsiyalash

Identifikatsiyalanadigan obyekt sifatida kirish va chiqish signallarining grafiklari 5-rasmda keltirilgan tizimni ko‘rib chiqamiz. Kirish signali sifatida birlik pog‘onali signaldan foydalanish etarli darajada samarali emas, shuning uchun sinov signali sifatida sinusoidal signal ishlatildi, chunki signal amplituda va faza bo‘yicha tashkil etuvchilarining tizimga ta’sirini aniqlashga imkon beradi va u tadqiq etilayotgan tizimning xususiyatlarini to‘liqroq aks ettiradi. Kirish signalining amplitudasi 1 ga, chastotasi - 1 rad/s ga teng. Neyro-noqat’iy tarmoqni o‘qitishda davrlar sonini 100 ga teng deb olamiz.

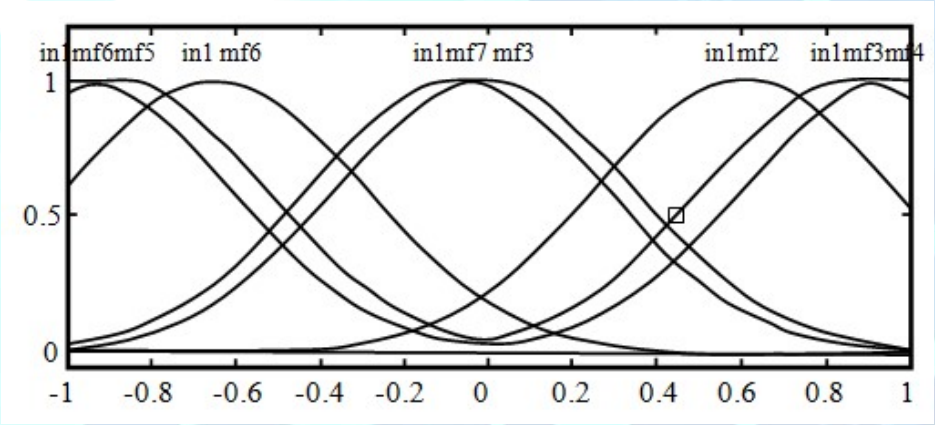
ISSN 3030-3907



5-rasm. Inersial tizimning kirish va chiqish signallari grafiklari

Identifikatsiyalash uchun kirish ma’lumotlari sifatida kirish signali o‘zi va uning hosilasidan foydalanilganda identifikatsiyalash samaradorligini tadqiq etamiz. Ma’lumotlardan noaniq bilimlar bazasini sintez qilish algoritmi sifatida subtraktiv klasterlash (subtractive clustering) usulini tanlaymiz.

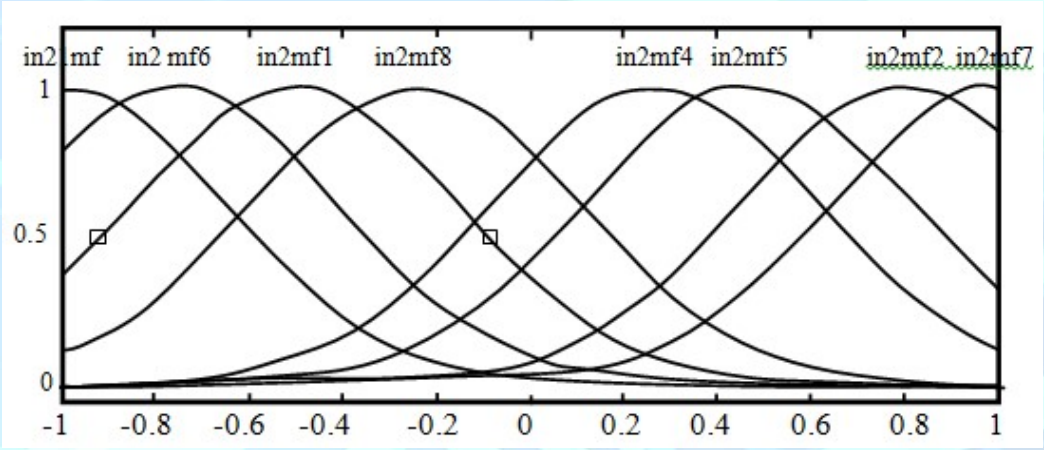
Bunda birinchi kirish o‘zgaruvchisi — ya’ni kirish signalining o‘ziga mos keluvchi tegishlilik funksiyalari quyidagi ko‘rinishga ega:



6-rasm. Kirish signaliga mos keladigan kirish o‘zgaruvchisining tegishlilik funksiyalarini taqsimoti

Ikkinchi kirish o‘zgaruvchisi — ya’ni kirish signali hosilasiga mos keluvchi tegishlilik funksiyalarining taqsimoti quyidagicha bo‘ladi:

ISSN 3030-3907

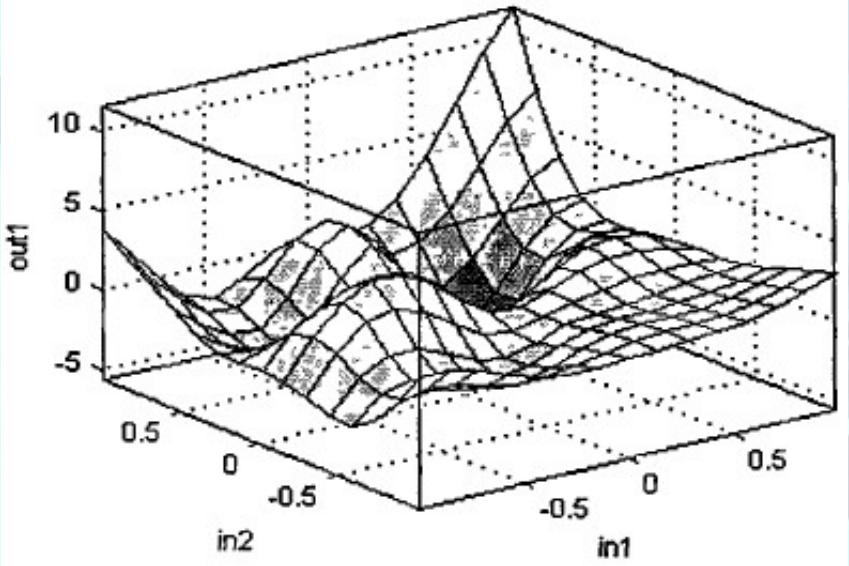


7-rasm. Kirish signali hosilasiga mos keluvchi tegishlilik funksiyalarining taqsimoti

Qoidalar bazasi quyidagi ko‘rinishda ega:

1. If(in1 is in1mf1) and(in2 is in2mf1) then (out1 is out1mf1) (1)
2. If(in1 is in1mf2) and(in2 is in2mf2) then (out1 is out1mf2) (1)
3. If(in1 is in1mf3) and(in2 is in2mf3) then (out1 is out1mf3) (1)
4. If(in1 is in1mf4) and(in2 is in2mf4) then (out1 is out1mf4) (1)
5. If(in1 is in1mf5) and(in2 is in2mf5) then (out1 is out1mf5) (1)
6. If(in1 is in1mf6) and(in2 is in2mf6) then (out1 is out1mf6) (1)
7. If(in1 is in1mf7) and(in2 is in2mf7) then (out1 is out1mf7) (1)
8. If(in1 is in1mf8) and(in2 is in2mf8) then (out1 is out1mf8) (1)

Qoidalar bazasining uch o‘lchamli fazoda grafik ifodalanishi:



8-rasm. Sintezlangan noqat’iy tizimning sirt tasfiri

Xulosa

Shunday qilib, neyro-noqat’iy tarmoq mexanizmi yordamida yaratilgan noqat’iy strukturalar adaptivlik xususiyatlarga ega degan xulosaga kelish mumkin. Murakkab dinamik tizimlarning boshqaruv jarayonida yuzaga keladigan

ISSN 3030-3907

nochiziqlilik va noaniqliklarni samarali bartaraf etish zamonaviy avtomatika va intellektual boshqaruv nazariyasining muhim masalalaridan biridir. Tadqiqot davomida ko‘rib chiqilgan adaptiv noqatiy xulosalash algoritmi orqali tizim parametrlarining real vaqtda o‘zgarishiga moslashish imkoniyati yaratildi hamda boshqaruv sifatining yaxshilanishi ta’minlandi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI:

1. Искандаров З.Э., Авезов Т.Х. (2025) Построение и исследование робастно-нечёткой системы управления процессом снования. Автоматизация процессов управления № 2 (80). https://doi.org/10.35752/1991-2927_2025_2_80_30

2. Avezov T.H., Iskandarov Z.E. Research of the Fuzzy Control System for Adjusting Thread Tension During the Warping process// Chemical Technology. Control and Management. 2024. ISS. 3. pp.59 – 65.

3. Iskandarov Z.E., Avezov T.H., Jurayev J.B. System Analysis of the Automatic Control System of a Warping Machine // Textile Journal of Uzbekistan. 2024. Vol. 1. pp. 33 – 40.

4. Avezov T.H. Fuzzy Control System for Technological Process Parameters // Web of Technology Multidimensional Research Journal. 2024. Vol. 2, ISS. 10. pp. 1 – 7.

5. Интеллектуальные системы управления и нечеткие регуляторы. Ч. 1. Нечеткие модели, логико-лингвистические и аналитические регуляторы. // С.Н. Васильев, Ю.И. Кудинов, Ф.Ф. Пащенко [и др]. // Датчики и системы. 2017. № 1. (210). С. 4 – 19.

6. Sidikov I., Khalmatov D., Alimova G. Algorithm for the Synthesis of a Predictive Control System for the Tape Pulling Process // E3S Web of Conferences, 2023. Vol. 389. 01083. URL: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338901083 (2024).

7. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: учебн. / под. ред.: Н.Д. Егупова. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 744 с.

8. Adaptive fuzzy control system for multi-dimensional dynamic object under the conditions of uncertainty of information // D.A. Khalmatov, U.O. Khuzhanazarov, G.R. Alimova, J.M. Murodov. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2021. Vol. 8, ISS. 2. pp.16608 – 16613.

9. Лубенцова Е.В., Пиотровский Д.Л., Лубенцов В.Ф. Робастная нечеткая система автоматического управления с переменной структурой // Фундаментальные исследования. 2017. № 3. С. 53 – 59.

ISSN 3030-3907

10. Saki S., Bolandi H. Robustness Analysis of Adaptive Model Predictive Control for Uncertain Non-linear Dynamic Systems Using S-Gap Metric Concepts // ISA Transactions. 2022. Vol. 130, pp. 582-597, DOI: 10.1016/j.isatra.2022.03.004.

ISSN 3030-3907