RSA va El-Gamal algoritmlarining qiyosiy tahlili

Ko‘rsatkich	RSA	El-Gamal
Matematik asos	Katta sonlarni faktorlash muammosi	Diskret logorifmlash muammosi
Ochiq kalit	(e,n)	(p,g,y)
Maxfiy kalit	D	X
Shifrlash natijasi	Bitta shifrmatn C	(C_1, C_2) juftligi
Tasodifiy parameter	Mavjud emas	K tasodifiy soni mavjud
Bir xil xabar qayta shifrlanganda	Bir xil natija hosil bo‘ladi	Turli natijalar hosil bo‘ladi
Shifrmatn hajmi	Nisbatan kichik	Nisbatan kata
Xavfsizlik asosi	Faktorlash murakkabligi	Diskret logarifm murakkabligi

Xulosa. Ushbu tadqiqot RSA va El-Gamal assimetrik shifrlash algoritmlarining kriptografik bardoshliligini nazariy va qiyosiy jihatdan tahlil qildi. Har ikki algoritm ham zamonaviy ochiq kalitli kriptografiyaning tayanch nuqtalaridan biri bo‘lib qolmoqda, biroq ularning xavfsizlik xususiyatlari va amaliy qo‘llanilishi bir-biridan sezilarli farq qiladi.

Shunday qilib, ikkala algoritm ham resurslari cheklangan qurilmalar (IoT, simsiz sensor tarmoqlari) uchun hisoblash yukini oshiruvchi omillarga ega: RSA katta kalit uzunligini, El-Gamal esa katta shifrmatn hajmini talab qiladi. Bu holat kelgusi tadqiqotlarni ekvivalent xavfsizlik darajasini ancha qisqaroq kalitlar bilan ta’minlaydigan elliptik egri chiziqlarga asoslangan (ECC) yengil kriptografik sxemalarni ishlab chiqish tomon yo‘naltiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

(1). Wiener M.J. (1990). Cryptanalysis of short RSA secret exponents. IEEE Transactions on Information Theory, 36(3), p. 553–558.

(2). Boneh D., Durfee G. (1999). Cryptanalysis of RSA with private key d less than N^0.292. EUROCRYPT 1999, LNCS 1592.

(3). Goldwasser S., Micali S. (1984). Probabilistic encryption. Journal of Computer and System Sciences, 28 (2), p. 270–299.

(4). Tsiounis Y., Yung M. (1998). On the security of ElGamal based encryption. PKC 1998, LNCS 1431.

(5). Boneh D. (1998). The decision Diffie-Hellman problem. ANTS III, LNCS 1423.

(6). Hankerson D., Menezes A., Vanstone S. (2004). Guide to Elliptic Curve Cryptography. Springer.

Aralbaeva Aziza Azat qizi (Ajiniyoz nomidagi Nukus davlat Pedagogika instituti talabasi; E-mail: azizaaralbaeva00@gmail.com)

MATEMATIK MANTIQ AMALLARINING FUZZY MANTIQDAGI MATEMATIK ASOSLARI VA AMALIY QO‘LLANILISHI

Annotatsiya. *Ushbu maqolada matematik mantiq amallarining fuzzy mantiqdagi matematik asoslari hamda ularning amaliy qo‘llanilishi tahlil qilingan. Klassik va fuzzy mantiqdagi AND, OR, NOT hamda implication amallarining matematik ifodalanishi qiyosiy o‘rganilgan. Tadqiqotda matematik modellashtirish va qiyosiy tahlil usullaridan foydalanilgan. Natijada fuzzy mantiq amallarini T-norm va S-norm operatorlari asosida ifodalashning o‘ziga xos xususiyatlari yoritilib, ularning noaniq ma’lumotlarni qayta ishlashdagi afzalliklari asoslandi. Shuningdek, fuzzy mantiq amallarining sun’iy intellekt, ekspert tizimlari va avtomatik boshqaruv tizimlaridagi amaliy qo‘llanilish imkoniyatlari ko‘rsatildi.*

Kalit so‘zlar: *matematik mantiq, fuzzy mantiq, fuzzy to‘plamlar, a’zolik funksiyasi, T-norm, S-norm, mantiqiy amallar, matematik interpretatsiya, matematik modellashtirish, amaliy qo‘llanilish.*

Аралбаева Азиза Азат кызы (студентка 3 курса, Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза; E-mail: azizaaralbaeva00@gmail.com)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Аннотация. *В данной статье рассмотрены математические основы логических операций в нечеткой логике и особенности их практического применения. Проведен сравнительный анализ математического представления логических операций AND, OR, NOT и импликации в классической и нечеткой логике. В исследовании использованы методы математического моделирования и сравнительного анализа. В результате раскрыты особенности представления логических операций в не-*

четкой логике на основе операторов T-норм и S-норм, а также обоснованы их преимущества при обработке неопределенной информации. Кроме того, показаны возможности практического применения логических операций нечеткой логики в системах искусственного интеллекта, экспертных системах и системах автоматического управления.

Ключевые слова: *математическая логика, нечеткая логика, нечеткие множества, функция принадлежности, T-норма, S-норма, логические операции, математическая интерпретация, математическое моделирование, практическое применение.*

Aziza Azat qizi Aralbaeva (Student of Nukus State Pedagogical Institute named after Ajiniyaz;
E-mail: azizaaralbaeva00@gmail.com)

MATHEMATICAL FOUNDATIONS OF LOGICAL OPERATIONS IN FUZZY LOGIC AND THEIR PRACTICAL APPLICATIONS

Annotation. *This paper examines the mathematical foundations of logical operations in fuzzy logic and their practical applications. A comparative analysis of the mathematical representation of the AND, OR, NOT, and implication operations in classical and fuzzy logic is presented. The study employs mathematical modeling and comparative analysis methods. The results reveal the distinctive features of representing fuzzy logical operations based on T-norm and S-norm operators and demonstrate their advantages in processing uncertain information. Furthermore, the practical applications of fuzzy logical operations in artificial intelligence, expert systems, and automatic control systems are discussed.*

Keywords: *mathematical logic, fuzzy logic, fuzzy sets, membership function, T-norm, S-norm, logical operations, mathematical interpretation, mathematical modeling, practical application.*

Kirish (Introduction). So‘nggi yillarda sun’iy intellekt, ekspert tizimlari, avtomatik boshqaruv hamda qaror qabul qilish tizimlarining jadal rivojlanishi noaniq va to‘liq bo‘lmagan ma’lumotlarni qayta ishlashning samarali usullarini ishlab chiqishni dolzarb masalalardan biriga aylantirdi. An’anaviy matematik mantiq ikkilik (0 va 1) qiymatlarga asoslanganligi sababli real hayotda uchraydigan noaniqlik, mavhumlik va ehtimollik bilan bog‘liq jarayonlarni to‘liq ifodalay olmaydi. Shu bois noaniq ma’lumotlarni qayta ishlashda fuzzy mantiq yondashuvi keng qo‘llanilmoqda.

Fuzzy mantiq matematik mantiqning kengaytirilgan ko‘rinishi bo‘lib, unda mantiqiy amallar a’zolik funksiyalari orqali [0;1] oraliqdagi qiymatlar asosida ifodalanadi. Mazkur yondashuv noaniqlik mavjud bo‘lgan sharoitlarda mantiqiy xulosalar chiqarish, qaror qabul qilish va murakkab tizimlarni modellashtirish imkonini beradi. Shu sababli fuzzy mantiq bugungi kunda sun’iy intellekt, mashinali o‘qitish, ekspert tizimlari, robototexnika, avtomatik boshqaruv va ta’lim texnologiyalarida keng qo‘llanilmoqda.

Ushbu tadqiqotning maqsadi matematik mantiqning asosiy amallari – AND, OR, NOT va implication amallarining fuzzy mantiqdagi matematik asoslarini tahlil qilish, ularning klassik mantiqdan farqli jihatlarini yoritish hamda amaliy qo‘llanilish imkoniyatlarini asoslashdan iborat. Mazkur maqsadga erishish uchun matematik modellashtirish, qiyosiy tahlil va mantiqiy umumlashtirish usullaridan foydalanildi.

Tadqiqotning obyekti sifatida fuzzy mantiqdagi mantiqiy amallar va ularning matematik modellari, predmeti sifatida esa mantiqiy amallarni T-norm va S-norm operatorlari asosida ifodalash hamda ularning amaliy qo‘llanilish xususiyatlari qaraldi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi matematik mantiq amallarining fuzzy mantiqdagi matematik asoslarini tizimli ravishda tahlil qilish, ularning turli operatorlar asosidagi ifodalanishini qiyosiy baholash hamda noaniq ma’lumotlarni qayta ishlashdagi afzalliklarini nazariy va amaliy jihatdan asoslashdan iborat. Tadqiqot natijalari fuzzy mantiqning matematik asoslarini rivojlantirish, shuningdek, sun’iy intellekt, ekspert tizimlari va avtomatik boshqaruv tizimlarini takomillashtirishda nazariy hamda amaliy ahamiyat kasb etadi.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili (Literature Review). Noaniq va to‘liq bo‘lmagan ma’lumotlarni qayta ishlash masalasi matematik mantiq, sun’iy intellekt va ekspert tizimlari sohasidagi muhim tadqiqot yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ushbu muammoni hal etishda fuzzy mantiq nazariyasi alohida ahamiyat kasb etadi. Fuzzy mantiq nazariyasining asoslari 1965-yilda Lotfi Zadeh tomonidan fuzzy to‘plamlar nazariyasining taklif etilishi bilan shakllangan [1]. Ushbu yondashuv klassik mantiqning ikkilik qiymatlariga asoslangan modelini umumlashtirib, obyektlarning ma’lum bir to‘plamga tegishlilik darajasi [0;1].

Fuzzy mantiq nazariyasi va uning matematik asoslari bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, ushbu yo‘nalishda turli olimlar tomonidan muhim ilmiy natijalarga erishilgan. Xususan, fuzzy to‘plamlar nazariyasini yaratish, mantiqiy xulosalash usullarini ishlab chiqish, T-norm va S-norm operatorlarini takomillashtirish hamda fuzzy mantiqni sun’iy intellekt, ekspert tizimlari va avtomatik boshqaruv tizimlarida qo‘llash bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar amalga oshirilgan.

Mazkur tadqiqotlarning mazmuni va asosiy natijalarini tizimli tahlil qilish maqsadida yetakchi olimlarning ilmiy ishlari qiyosiy o‘rganildi. Ularning asosiy ilmiy hissasi, afzalliklari hamda mavjud cheklovlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Fuzzy mantiq nazariyasi bo‘yicha asosiy ilmiy tadqiqotlarning qiyosiy tahlili

Olim	Asosiy ilmiy hissasi	Afzalligi	Cheklovi
Lotfi A. Zadeh	Fuzzy to‘plamlar nazariyasi	Nazariy asos yaratdi	Mantiqiy amallar chuqur tahlil qilinmagan
Ebrahim Mamdani	Fuzzy inference	Amaliy boshqaruv	Operatorlar qiyosiy tahlili cheklangan
Takagi – Michio Sugeno	Takagi–Sugeno modeli	Yuqori aniqlik	Murakkab hisoblash
Didier Dubois – Henri Prade	Noaniqlik nazariyasi	Matematik asoslar	Amaliy misollar kam
Bart Kosko	Fuzzy tizimlar	AI bilan integratsiya	Mantiqiy operatorlarga kam e’tibor

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, mavjud tadqiqotlarda fuzzy mantiqning nazariy asoslari, fuzzy inference tizimlari va ularning turli amaliy qo‘llanilishlari keng yoritilgan. Biroq matematik mantiqning asosiy amallari (AND, OR, NOT, implication) ning fuzzy mantiqdagi matematik asoslarini tizimli ravishda tahlil qilish, turli T-norm va S-norm operatorlarini qiyosiy baholash hamda ularning amaliy qo‘llanilish xususiyatlarini kompleks yoritishga bag‘ishlangan tadqiqotlar nisbatan kam uchraydi. Mazkur maqolada aynan ushbu ilmiy bo‘shliqni to‘ldirish maqsad qilingan [6–7].

Matematik mantiqning nazariy asoslari. Matematik mantiq matematikaning mulohazalar, mantiqiy bog‘lanishlar va xulosalar chiqarish qonuniyatlarini formal usullar asosida o‘rganuvchi bo‘limi hisoblanadi. Uning asosiy vazifasi mantiqiy fikrlash jarayonlarini matematik modellar yordamida ifodalash, mulohazalarning chin yoki yolg‘onligini aniqlash hamda ularga asoslangan xulosalar chiqarishdan iborat. Matematik mantiq zamonaviy informatika, sun’iy intellekt, algoritmlar nazariyasi, ekspert tizimlari va avtomatik boshqaruv tizimlarining nazariy asosini tashkil etadi [4–5].

Matematik mantiqda har qanday mulohaza faqat ikkita mantiqiy qiymatdan birini qabul qiladi: rost (1) yoki yolg‘on (0). Shuning uchun klassik mantiq ikkilik (Binary Logic) tamoyiliga asoslanadi. Agar mulohaza rost bo‘lsa, uning qiymati 1, aks holda, 0 ga teng deb qabul qilinadi [8].

Matematik mantiqning asosini mantiqiy amallar tashkil etadi. Ular murakkab mulohazalarni hosil qilish, mantiqiy bog‘lanishlarni ifodalash va xulosalar chiqarishda qo‘llaniladi. Asosiy mantiqiy amallar quyidagilardan iborat:

- konyunksiya (AND, $\wedge$) – ikkala mulohaza ham rost bo‘lgandagina, natija rost bo‘ladi;
- dizyunksiya (OR, $\vee$) – kamida bitta mulohaza rost bo‘lsa, natija rost bo‘ladi;
- inkor (NOT, $\neg$) – mulohazaning mantiqiy qiymatini teskarisiga o‘zgartiradi;
- implikatsiya (Implication, $\rightarrow$) – bir mulohazadan ikkinchi mulohaza kelib chiqishini ifodalaydi;
- ekvivalentlik (Equivalence, $\leftrightarrow$) – ikki mulohazaning mantiqiy qiymatlari bir xil bo‘lsa, rost qiymatni qabul qiladi [3].

Klassik matematik logika (Boole algebrası) informaciyalar menen islewdiń eń tiykarǵı modelderiniń biri bolıp, onda barlıq ámeller eki mániske ǵana iye: 0 (jalǵan) hám 1 (shın). Bul model kompyuter sistemalarında, algoritmlerde hám sanlı logikada kóp paydalanıladı [2].

Biraq real ómirde kóplegen jaǵdaylar anıq “shın” yamasa “jalǵan” dep qatań kategoriyalardı talab etpeydi. Mısalı, *“bul adam aqıllı”*, *“bul temperatura joqarı”*, *“student bilimli”* siyaqlı túsinikler dárejelik xarakterge iye. Dál usı múmkinshiliklerdi esapqa alıw ushın fuzzy logika payda bolǵan.

Fuzzy logikasındaǵı tiykarǵı ulıwmalastırılǵan operaciyalar. Fuzzy konyunkciya (AND). Klassikalıq logikada:

$$A \wedge B = \begin{cases} 1, \; eger \;\; A = 1 \;\; hám \;\; B = 1 \\ 0, \; basqa \;\; jag'dayda \end{cases}$$

Fuzzy logikada bolsa bul ámel min (minimum) operatorı arqalı ulıwmalastırıladı:

$$\mu_{A \wedge B}(x) = \min\left(\mu_A(x), \mu_B(x)\right)$$

Basqasha aytqanda, eki kópliktiń kesilisiw dárejesi – olardıń eń kishi tiyislilik mánisi boladı.

1 – mısal. $A =$ “adam biyik”, $B =$ “adam semiz”. Eger $\mu_A(x) = 0.8,\ \mu_B(x) = 0.6$ bolsa, onda:

$$\mu_{A\wedge B}(x) = \min(0.8, 0.6) = 0.6$$

Demek, adam “biyik hám semiz” degen aytımnıń haqıyqatlıq dárejesi 0.6 boladı.

Fuzzy logikada birikpe (dizyunkciya) ámeli. Fuzzy logikada birikpe (dizyunkciya, “OR”) ámeli eki fuzzy kópliktiń birlesiw dárejesin bildiredi. Yağnıy, element keminde **bir** kóplikke tiyisli bolsa, ol birikpe kóplikke de tiyisli esaplanadı. Bul klassikalıq logikada:

$$A \vee B = \text{“}A \text{ yaki } B\text{ ”}$$

ámeliniń fuzzy kórinisi.

Matematikalıq ańlatpası. Fuzzy logikada bul ámel tómendegishe anıqlanadı:

$$\mu_{A\vee B}(x) = \max\left(\mu_A(x), \mu_B(x)\right)$$

Bul jerde:

- $\mu_A(x)$ – elementtiń A kóplikke tiyislilik dárejesi,
- $\mu_B(x)$ – elementtiń B kóplikke tiyislilik dárejesi,
- $\mu_{A\cup B}(x)$ – elementtiń $A \cup B$ (birikpe) kóplikke tiyislilik dárejesi.

Solay etip:

Ámel atı	Logikalıq ańlatpa	Matematikalıq ańlatpa	Operaciya túri
Kesilispe (AND)	$A \wedge B$	$\min\left(\mu_A(x), \mu_B(x)\right)$	Fuzzy intersection
Birikpe (OR)	$A \vee B$	$\max\left(\mu_A(x), \mu_B(x)\right)$	Fuzzy union
Biykar (NOT)	$\neg A$	$1 - \mu_A(x)$	Fuzzy complement

Klassikalıq logikada $A \leftrightarrow B$ – ekewi birdey mániske iye bolǵanda shın.

Fuzzy kontekstte bolsa:

$$\mu_{A\leftrightarrow B}(x) = 1 - \left|\mu_A(x) - \mu_B(x)\right|$$

Eger $\mu_A(x)$ hám $\mu_B(x)$ jaqın bolsa, olardıń ekvivalentlik dárejesi joqarı boladı.

Fuzzy implikaciya (IF...THEN). Klassikalıq logikada $A \to B$ (“eger A, onda B”) tómendegi mánisler menen anıqlanadı:

A	B	$A \to B$
1	1	1
1	0	0
0	1	1
0	0	1

Fuzzy logikada bolsa implikaciya túrli formal modellerde ulıwmalastırıladı. Eń kóp qollanılatuǵın *Zadeh implikaciya* kórinisi:

$$\mu_{A\to B}(x) = \max\left(1 - \mu_A(x), \mu_B(x)\right)$$

Fuzzy biykar (NOT). Klassikalıq logikada:

$$\neg A = \begin{cases} 1, & eger\ \ A = 0 \\ 0, & eger\ \ A = 1 \end{cases}$$

Fuzzy logikada bolsa biykar tómendegishe ulıwmalastırıladı:

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

2 – mısal. $A =$ “adam biyik” ushın $\mu_A(x) = 0.7$.

Sonda:

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - 0.7 = 0.3$$

Demek, “adam pás” aytımnıń haqıyqıylıq dárejesi 0.3 ke teń.

Fuzzy logika – klassikalıq (Boole) logikadan parqlı túrde, real ómirdegi anıqsızlıq penen islewge baǵdarlanǵan intellektual model esaplanadı. Onıń eń baslı ayırmashılıǵı – haqıyqıylıq mánini qatań 0 yamasa 1 dep emes, dárejelik (0–1 aralıǵında) tásirde qarawı.

Klassikalıq logikada pikir tek eki jaǵdayǵa iye:

- 0 → jalǵan;
- 1 → shın.

Biraq real ómirde kóplegen túsinikler bunday qatań emes.

Fuzzy to‘plamlar va a’zolik funksiyasi. Klassik to‘plamlar nazariyasida har bir element berilgan to‘plamga yoki tegishli bo‘ladi yoki tegishli bo‘lmaydi. Boshqacha aytganda, elementning to‘plamga tegishliligi faqat ikkita qiymatdan birini qabul qiladi: 0 yoki 1. Klassik to‘plamning xarakteristik funksiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A, \\ 0, & x \notin A. \end{cases}$$

bu yerda:

- $\chi_A(x)$– xarakteristik funksiya;
- A– klassik to‘plam;
- x– universal to‘plam elementi.

Mazkur yondashuv aniq chegaralarga ega bo‘lgan obyektlarni tavsiflashda samarali hisoblanadi. Ammo real hayotda uchraydigan ko‘plab tushunchalar, masalan, *yuqori harorat, tezlik, tajriba, bilim darajasi* kabi kattaliklarni qat’iy ravishda "tegishli" yoki "tegishli emas" deb ajratish qiyin.

Shu sababli fuzzy mantiqda fuzzy to‘plam tushunchasi qo‘llaniladi. Fuzzy to‘plam universal to‘plam elementlarining ma’lum bir to‘plamga tegishlilik darajasini ifodalaydi va quyidagicha aniqlanadi:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\},$$

bu yerda:

- X– universal to‘plam;
- A– fuzzy to‘plam;
- $\mu_A(x)$– a’zolik funksiyasi.

A’zolik funksiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu_A : X \to [0,1].$$

Demak,

$$0 \le \mu_A(x) \le 1.$$

Bu yerda:

- $\mu_A(x) = 0$– element to‘plamga umuman tegishli emas;
- $\mu_A(x) = 1$– element to‘plamga to‘liq tegishli;
- $0 < \mu_A(x) < 1$– element qisman tegishlidir.

Masalan, "Yuqori harorat" fuzzy to‘plami qaralsin. Agar havo harorati **35°C** bo‘lsa va uning a’zolik darajasi

$$\mu_{High}(35) = 0.7$$

bo‘lsa, bu 35°C harorat "yuqori harorat" tushunchasiga 70 % darajada mos kelishini bildiradi.

A’zolik funksiyalarining asosiy turlari. Fuzzy mantiqda a’zolik funksiyalarining bir nechta turlari mavjud bo‘lib, ular orasida uchburchaksimon usuli. Uchburchaksimon (Triangular) a’zolik funksiyasi

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \le a, \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a < x \le b, \\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b < x < c, \\ 0, & x \ge c. \end{cases}$$

bu yerda:

- a– boshlanish nuqtasi;
- b– maksimal a’zolik nuqtasi;
- c– tugash nuqtasi.

Tadqiqot metodologiyasi (Research Methodology). Mazkur tadqiqotda matematik mantiq amallarining fuzzy mantiqdagi matematik asoslarini o‘rganishda nazariy tahlil, matematik modellashtirish, qiyosiy tahlil va mantiqiy umumlashtirish usullaridan foydalanildi. Tadqiqot jarayonida klassik matematik

mantiq hamda fuzzy mantiq nazariyasining asosiy tamoyillari tahlil qilinib, AND, OR, NOT va implication amallarining matematik modellari T-norm va S-norm operatorlari asosida qiyosiy baholandi. Olingan natijalar fuzzy mantiq amallarining noaniq ma'lumotlarni qayta ishlashdagi samaradorligini nazariy jihatdan asoslash imkonini berdi.

Natijalar. Tadqiqot natijasida matematik mantiqning asosiy amallari (AND, OR, NOT va implication) ning fuzzy mantiqdagi matematik asoslari tizimli ravishda tahlil qilindi. Mantiqiy amallarning klassik va fuzzy mantiqdagi ifodalanish usullari qiyoslanib, fuzzy mantiqda T-norm va S-norm operatorlaridan foydalanishning matematik afzalliklari asoslandi. Shuningdek, fuzzy to'plamlar, a'zolik funksiyalari hamda Mamdani va Sugeno modellarining noaniq ma'lumotlarni qayta ishlashdagi imkoniyatlari yoritildi. Olingan natijalar fuzzy mantiqning sun'iy intellekt, ekspert tizimlari va avtomatik boshqaruv tizimlarida samarali qo'llanilishini nazariy jihatdan tasdiqlaydi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda matematik mantiq amallarining fuzzy mantiqdagi matematik asoslari va ularning amaliy qo'llanilish imkoniyatlari tahlil qilindi. Tadqiqot natijasida klassik va fuzzy mantiqdagi AND, OR, NOT hamda implication amallarining matematik ifodalanishi qiyosiy o'rganilib, fuzzy mantiqda T-norm va S-norm operatorlarining mantiqiy amallarni modellashtirishdagi o'rni asoslandi. Shuningdek, fuzzy to'plamlar, a'zolik funksiyalari hamda Mamdani va Sugeno modellarining noaniq ma'lumotlarni qayta ishlashdagi afzalliklari yoritildi. Olingan natijalar fuzzy mantiqning sun'iy intellekt, ekspert tizimlari va avtomatik boshqaruv tizimlarida samarali qo'llanilishi uchun nazariy asos bo'lib xizmat qiladi hamda ushbu yo'nalishdagi keyingi ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirishga imkon yaratadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

(1). Zadeh L.A. Fuzzy Sets // Information and Control. 1965, vol. 8, № 3, p. 338–353.

(2). Zadeh L.A. The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning. Information Sciences. 1975, vol. 8–9.

(3). Mamdani E.H. Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers. 1974, vol. 121, № 12, p. 1585–1588.

(4). Takagi T., Sugeno M. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. *IEEE* Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1985, vol. 15, № 1, p. 116–132.

(5). Klir G.J., Yuan B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. New Jersey: Prentice Hall, 1995, 574 p.

(6). Zimmermann H.J. Fuzzy Set Theory and Its Applications. 4th ed. Boston, Kluwer Academic Publishers, 2001, 514 p.

(7). Ross T.J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. 4th ed. John Wiley & Sons, 2017, 696 p.

(8). Mendel J.M. Uncertain Rule-Based Fuzzy Systems: Introduction and New Directions. 2nd ed. Springer, 2017, 684 p.

Turg'unov Shoxruxbek Javlonbek o'g'li (O'zbekiston Milliy universiteti, "Universitet" ko'chasi, 4-uy, 100174, Toshkent, O'zbekiston; turgunovshoxruxbek275@gmail.com),
Axmadjanov Turg'unali (O'zbekiston Milliy universiteti, "Universitet" ko'chasi, 4-uy, 100174, Toshkent, O'zbekiston),
Akramov Mashrab Ergashali o'g'li (O'zbekiston Milliy universiteti, "Universitet" ko'chasi, 4-uy, 100174, Toshkent, O'zbekiston),
Matyoqubov Hikmatjon Shuhratovich (Urganch davlat universiteti, Hamid Olimjon ko'chasi, 14-uy, 220100, Urganch, O'zbekiston),
Jumaniyozov Muzaffar (Urganch davlat Pedagogika instituti, "Gurlan" ko'chasi, 1-uy, 220100, Urganch, O'zbekiston)

PT-SIMMETRIK YULDUZSIMON DISKRET PANJARALARDA SOLITONLAR VA ULARNING CHIZIQLI BARQARORLIGI

Annotatsiya. *Ushbu ishda PT-simmetrik, to'rt qirrali yulduzsimon diskret panjaradagi nochiziqli soliton yechimlari o'rganilgan. Markaziy kvadrimer va to'rtta yarim cheksiz tarmoqdan iborat tuzilma uchun nochiziqli Shredinger tenglamasi asosida matematik model qurilgan.Yulduzsimon grafda solitonlarning chiziqli barqarorligini tekshirilgan hamda ularning spektri olingan*

Kalit so'zlar: *PT-simmetriya, yulduzsimon diskret panjara, tarmoqlangan struktura, diskret nochiziqli Shredinger tenglamasi.*