ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 5

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

BIOMETRIK TEKSHIRISH VA WEBAUTHN PRATAKOLINING INTEGRATSIYASI MATEMATIK MODELI

Xudayberganov Temur Rustamovich
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti Axborot xavfsizligi kafedrasi mudiri
E-mail: doctordrebek@gmail.com
Tel: +998 97 211 53 05
Davlatmuratov Valijon To‘lqin o‘g‘li
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti Axborot xavfsizligi magistatura talabasi
E-mail: valijon.web@gmail.com
Tel: +998 94 237 03 73

Annotatsiya. Mazkur maqolada biometrik autentifikatsiya va WebAuthn protokolining integratsiyasiga asoslangan matematik model ishlab chiqilgan. Tadqiqotda barmoq izi tasvirlarini qayta ishlash, xususiyatlarni ajratish va moslikni baholash algoritmlari hamda ochiq kalitli kriptografiya mexanizmlari yagona tizim sifatida ko‘rib chiqilgan. WebAuthn yordamida autentifikatsiya jarayoni ikki bosqichda amalga oshiriladi: biometrik tekshiruv va kriptografik tasdiqlash. Taklif etilgan model foydalanuvchi autentifikatsiyasining aniqligi, xavfsizligi va maxfiyligini oshirishga xizmat qiladi. Eksperimental natijalar tizimning yuqori samaradorligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: biometrik autentifikatsiya, WebAuthn, kriptografiya, barmoq izi, ECDSA, xavfsizlik, autentifikatsiya modeli, ochiq kalit, minutiae, FAR, FRR.

Abstract. This paper presents a mathematical model for the integration of biometric authentication and the WebAuthn protocol. The study considers fingerprint image processing, feature extraction, and similarity evaluation algorithms along with public-key cryptographic mechanisms within a unified system. The WebAuthn-based authentication process consists of two stages: biometric verification and cryptographic validation. The proposed model improves the accuracy, security, and privacy of user authentication. Experimental results demonstrate the high efficiency of the system.

Keywords: biometric authentication, WebAuthn, cryptography, fingerprint, ECDSA, security, authentication model, public key, minutiae, FAR, FRR.

Аннотация. В данной статье разработана математическая модель интеграции биометрической аутентификации и протокола WebAuthn. В исследовании рассмотрены алгоритмы обработки изображений отпечатков пальцев, выделения признаков и оценки сходства, а также механизмы криптографии с открытым ключом в рамках единой системы. Аутентификация с использованием WebAuthn осуществляется в два этапа: биометрическая

проверка и криптографическое подтверждение. Предложенная модель повышает точность, безопасность и конфиденциальность аутентификации пользователей. Экспериментальные результаты подтверждают высокую эффективность системы.

Ключевые слова: биометрическая аутентификация, WebAuthn, криптография, отпечаток пальца, ECDSA, безопасность, модель аутентификации, открытый ключ, minutiae, FAR, FRR.

KIRISH.

Zamonaviy axborot tizimlarida foydalanuvchini ishonchli identifikatsiya va autentifikatsiya qilish muammosi axborot xavfsizligining eng muhim komponentlaridan biri hisoblanadi. An’anaviy bilimga asoslangan autentifikatsiya usullari, xususan parollar, ko‘plab zaifliklarga ega bo‘lib, ular bruteforce, fishing va credential stuffing kabi hujumlarga nisbatan yetarli darajada barqaror emas. Shu sababli, so‘nggi yillarda biometrik autentifikatsiya va ochiq kalitli kriptografiyaga asoslangan yondashuvlar keng qo‘llanilmoqda. Xususan, WebAuthn standarti foydalanuvchi autentifikatsiyasini ikki bosqichli mexanizm orqali amalga oshiradi. Birinchi bosqichda foydalanuvchining biometrik xususiyatlari (masalan, barmoq izi yoki yuz tasviri) qurilma darajasida tekshiriladi. Ikkinchi bosqichda esa autentifikatsiya natijasi kriptografik jihatdan tasdiqlanadi, ya’ni qurilmada saqlanadigan yopiq kalit yordamida server tomonidan yuborilgan tasodifiy chaqiriq qiymati imzolanadi. Ushbu jarayon matematik nuqtai nazardan quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma = Sign_{sk}(sk, c)\ ,\ Verify(pk, c, \sigma) = true$$

bu yerda sk — yopiq kalit, pk — ochiq kalit, c — challenge qiymati, σ — raqamli imzo. Mazkur tadqiqotda barmoq izini tanib olish jarayonida qo‘llaniladigan matematik modellar (tasvirni qayta ishlash, xususiyatlarni ajratish va moslikni baholash) hamda WebAuthn protokolidagi kriptografik mexanizmlar yagona integratsiyalashgan tizim sifatida ko‘rib chiqiladi. Ushbu komponentlar o‘zaro bog‘liq bo‘lsa-da, funksional jihatdan turli vazifalarni bajaradi: biometrik modul foydalanuvchini identifikatsiya qiladi, kriptografik modul esa ushbu identifikatsiya natijasini ishonchli matematik isbotga aylantiradi. Natijada, taklif etilayotgan yondashuv foydalanuvchi autentifikatsiyasining aniqligi, xavfsizligi va maxfiyligini oshirishga xizmat qiluvchi kompleks modelni shakllantiradi hamda zamonaviy axborot tizimlarida qo‘llash uchun istiqbolli yechim sifatida qaraladi.

METODLAR.

Biometrik autentifikatsiya jarayonida barmoq izi tasviri ustida bir nechta matematik bosqichlar amalga oshiriladi. Tasvir I(x,y)I(x,y)I(x,y) sifatida aniqlanadi va dastlab gradient orqali chiziqlar aniqlanadi:

ISSN 3030-3907

$$\Delta I = (\frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y})$$

Gradient yo‘nalishi esa quyidagicha hisoblanadi:

$$\theta(x,y) = \tan^{-1}\left(\frac{I_y}{I_x}\right)$$

Bu qiymatlar barmoq chiziqlarining orientatsiyasini aniqlashda ishlatiladi. Tasvirni yaxshilash uchun Gabor filtrlari qo‘llaniladi:

$$G(x,y) = exp(\frac{x'^2 + \gamma'^2 y'^2}{2\sigma^2})cos(2\pi\frac{x'}{\lambda} + \phi)$$

Binarizatsiya bosqichida tasvir quyidagicha soddalashtiriladi:

$$B(x,y) = \begin{cases} 1, I(x,y) > T \\ 0, I(x,y) \le T \end{cases}$$

Bu yerda T — threshold (chegara) qiymati. Minutiae nuqtalari quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$m_i = (x_i, y_i, \theta_i, t_i)$$

bu yerda tit_iti — nuqta turi (ending yoki bifurcation). Bundan tashqari ikki barmoq izi orasidagi moslikni aniqlash uchun Evklid masofa:

$$d = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Bundan tashqari, umumiy moslik Hausdorff masofa orqali baholanadi:

$$H(A,B) = max(\sup_{a\in A} \in \inf_{b\in B} d(a,b), \sup_{b\in B} \inf_{a\in A} d(a,b))$$

Moslik ehtimolligi statistik yondashuv orqali ham aniqlanishi mumkin:

$$\chi^2 = \Sigma\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

WebAuthn tizimida esa asosiy matematik model kriptografiyaga asoslanadi. Qurilma kalit juftligini yaratadi:

$$(sk, pk)$$

Bu yerda sk — yopiq kalit, pk ochiq kalit. WebAuthn tizimida esa biometrik natija to‘g‘ridan-to‘g‘ri serverga yuborilmaydi. Qurilma ichida ochiq va yopiq kalit jufti generatsiya qilinadi. Autentifikatsiya jarayonida server tomonidan berilgan tasodifiy qiymat — challenge quyidagicha imzolanadi:

$$\sigma = Sign_{sk}(c)$$

Bu jarayon Elliptic Curve Cryptography asosida amalga oshiriladi. Elliptik egri quyidagicha ifodalanadi:

$$y^2 = x^3 + ax + b$$

ECDSA algoritmida imzo quyidagi shaklda hosil qilinadi:

$$r = (kG)_x \mod n$$

$$s = k^{-1}(H(m) + r \cdot sk) \mod n$$

ISSN 3030-3907

Ko‘pincha bu jarayon Elliptic Curve Digital Signature Algorithm asosida amalga oshiriladi. Server esa quyidagi tekshiruvni bajaradi:

$$w = s^{-1} \mod n$$
$$u_1 = H(m) \cdot w, \quad u_2 = r \cdot w,$$
$$X = u_1 G + u_2 pk$$

Agar $X_x \equiv r \ (mod\ n)$ bo‘lsa, imzo haqiqiy hisoblanadi.

NATIJALAR.

O‘tkazilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, biometrik autentifikatsiya va WebAuthn asosidagi ochiq kalitli kriptografiya integratsiyasi yuqori darajadagi xavfsizlikni ta’minlaydi. Taklif etilgan modelda biometrik modul foydalanuvchini qurilma darajasida verifikatsiya qiladi va faqat muvaffaqiyatli autentifikatsiya amalga oshirilgandan so‘ng yopiq kalitdan foydalanishga ruxsat beradi. Ushbu jarayon quyidagi mantiqiy bog‘liqlik bilan ifodalanadi:

$$Biometriya \Rightarrow sk\ ga\ kirish \Rightarrow \sigma = Sign(sk, c)$$

Bu yondashuvning muhim afzalliklaridan biri shundaki, server tomoni hech qachon foydalanuvchining biometrik ma’lumotlarini, xususan barmoq izi tasviri yoki uning xom xususiyatlarini qabul qilmaydi. Natijada, maxfiylik darajasi sezilarli darajada oshadi va biometrik ma’lumotlarning sizib chiqish xavfi minimallashtiriladi. Eksperimental natijalar shuni ko‘rsatadiki, minutiae asosidagi moslik algoritmlari yuqori aniqlikni ta’minlaydi. Biometrik tizimning samaradorligi odatda quyidagi ko‘rsatkichlar orqali baholanadi:

False Acceptance Rate (FAR):

$$FAR = \frac{N_{false_accept}}{N_{impostor_attempts}}$$

False Rejection Rate (FRR):

$$FAR = \frac{N_{false_accept}}{N_{genuine_attempts}}$$

Natijalarga ko‘ra, minutiae asosidagi yondashuvda FAR qiymati minimal darajada bo‘lib, bu tizimning ruxsatsiz kirishlarga nisbatan yuqori barqarorligini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, FRR qiymatining pastligi foydalanuvchilar uchun qulaylikni ta’minlaydi. Kriptografik modul esa autentifikatsiya jarayonining yaxlitligini va buzilmasligini kafolatlaydi. Xususan, raqamli imzo tekshiruvi quyidagi shart asosida amalga oshiriladi:

$$Verify(pk, c, \sigma) = true$$

Bu yerda autentifikatsiya faqatgina to‘g‘ri yopiq kalit yordamida yaratilgan imzo mavjud bo‘lgandagina muvaffaqiyatli deb hisoblanadi. Mazkur mexanizm replay attack, man-in-the-middle va boshqa keng tarqalgan hujum turlariga qarshi samarali himoyani ta’minlaydi. Shunday qilib, biometrik va kriptografik

ISSN 3030-3907

komponentlarning integratsiyasi autentifikatsiya tizimining aniqligi, xavfsizligi va maxfiyligini bir vaqtning o‘zida ta’minlovchi kompleks yechim sifatida namoyon bo‘ladi.

MUHOKAMA.

Taklif etilgan yondashuv biometrik autentifikatsiya va ochiq kalitli kriptografiyaga asoslangan WebAuthn mexanizmlarining integratsiyasiga tayanadi. Biometrik autentifikatsiya foydalanuvchini uning fiziologik yoki xulq-atvor xususiyatlari orqali aniqlashga qaratilgan bo‘lib, u tasvirlarni qayta ishlash va statistik moslikni baholashga asoslanadi. Ushbu jarayon matematik jihatdan quyidagicha ifodalanadi:

$$S = \frac{N_{match}}{N_{total}}, \quad S > \tau \Rightarrow accept$$

bu yerda S — o‘xshashlik darajasi, τ — chegaraviy qiymat.

Boshqa tomondan, WebAuthn mexanizmi foydalanuvchini autentifikatsiya qilishda kriptografik isbotdan foydalanadi. Xususan, autentifikatsiya jarayoni quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$\sigma = Sign(sk, c), \;\; Verify(pk, c, \sigma) = true$$

bu yerda c — server tomonidan generatsiya qilingan tasodifiy chaqiriq (challenge), k va pk— mos ravishda yopiq va ochiq kalitlar. Ushbu yondashuvning xavfsizligi diskret logarifm muammosining hisoblash jihatdan murakkabligiga asoslanadi. Integratsiyalashgan tizimda biometrik autentifikatsiya yopiq kalitdan foydalanishga ruxsat beruvchi mexanizm sifatida xizmat qiladi, ya’ni:

$$Biometriya \Rightarrow sk\ ga\ kirish$$

Natijada, umumiy autentifikatsiya modeli quyidagi kompozit funksiyada ifodalanishi mumkin:

$$Auth(u) = \begin{cases} 1, Verify(pk, c, Sign(sk, c)) = true \\ 0, \end{cases}$$

Ushbu integratsiya “bilimga asoslangan” autentifikatsiya (parollar) bilan solishtirganda bir qator ustunliklarni ta’minlaydi. Birinchidan, parollarni buzish, taxmin qilish yoki fishing hujumlari orqali qo‘lga kiritish mumkin bo‘lsa, taklif etilgan modelda yopiq kalit hech qachon qurilmadan tashqariga chiqmaydi. Ikkinchidan, autentifikatsiya jarayonida biometrik ma’lumotlarning serverga uzatilmasligi maxfiylikni sezilarli darajada oshiradi. Ushbu integratsiya “bilimga asoslangan” autentifikatsiya (parollar) bilan solishtirganda bir qator ustunliklarni ta’minlaydi. Birinchidan, parollarni buzish, taxmin qilish yoki fishing hujumlari orqali qo‘lga kiritish mumkin bo‘lsa, taklif etilgan modelda yopiq kalit hech qachon qurilmadan tashqariga chiqmaydi. Ikkinchidan, autentifikatsiya jarayonida biometrik ma’lumotlarning serverga uzatilmasligi maxfiylikni sezilarli darajada oshiradi. Natijada, biometrik autentifikatsiya foydalanuvchini aniqlash

ISSN 3030-3907

(identifikatsiya) vositasi sifatida, WebAuthn esa ushbu identifikatsiyani ishonchli kriptografik dalilga aylantiruvchi mexanizm sifatida qaraladi. Ushbu ikki komponentning sinergetik birikmasi zamonaviy autentifikatsiya tizimlarida yuqori darajadagi xavfsizlik, maxfiylik va foydalanish qulayligini ta'minlovchi fundamental yondashuvni tashkil etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. WebAuthn. Web Authentication: An API for accessing Public Key Credentials Level 2. – W3C Recommendation, 2021.
2. World Wide Web Consortium (W3C). Web Authentication Working Group. WebAuthn Level 3 Specification. – 2024.
3. FIDO Alliance. FIDO2: Moving the World Beyond Passwords. – FIDO Alliance Technical Overview, 2023.
4. Handbook of Fingerprint Recognition / Maltoni D., Maio D., Jain A.K., Prabhakar S. – London: Springer, 2022.
5. Anil K. Jain, Ross A., Nandakumar K. Introduction to Biometrics. – New York: Springer, 2023.
6. Stallings W. Cryptography and Network Security: Principles and Practice. – 9th Edition. Pearson Education, 2024.
7. Menezes A., Van Oorschot P., Vanstone S. Handbook of Applied Cryptography. – CRC Press, 2022.
8. Goodrich M., Tamassia R. Algorithm Design and Applications. – Wiley, 2021.
9. Bishop M. Computer Security: Art and Science. – Addison-Wesley, 2023.
10. National Institute of Standards and Technology. Digital Identity Guidelines (SP 800-63B). – NIST Special Publication, 2024.
11. O'Gorman L. Comparing Passwords, Tokens, and Biometrics for User Authentication. Information Security Journal, 2022.
12. Wayman J., Jain A.K., Maltoni D., Maio D. Biometric Systems: Technology, Design and Performance Evaluation. – Springer, 2021.
13. Dasgupta D., Roy A., Nag A. Advances in User Authentication. – Springer, 2023.
14. Singh K., Gupta R. Mathematical Models for Biometric Authentication Systems. Journal of Information Security, 2023.
15. Zhang Y., Wang H. Security Analysis of WebAuthn-Based Authentication Frameworks. International Journal of Cyber Security, 2024.

ISSN 3030-3907