ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 2

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME - 2

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

UO‘T 631.312

DISKLI ISHCHI QUROLLAR BILAN TUPROQQA MEXANIK ISHLOV BERISHDA DISK VA TUPROQNING O‘ZARO TA’SIRINI FIZIK-MEXANIK MOHIYATI

Ermatov Valijon Abdivaitovich
Guliston davlat universiteti Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini qayta ishlash texnologiyalari kafedrasi katta o‘qituvchisi, t.f.f.d. (PhD)
E-mail: valijonermatov2010@gmail.com
Batirov Baxtiyar Ko‘nishovich
Guliston davlat universiteti Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini qayta ishlash texnologiyalari kafedrasi o‘qituvchisi
E-mail: batirov.baxtiyar64@gmail.com
Raximov Shohjaxon Turg‘un o‘g‘li
Guliston davlat universiteti Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini qayta ishlash texnologiyalari kafedrasi talabasi
E-mail: shohjaxonraximov02@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur tadqiqotda sferik diskli ishchi organining tuproq bilan o‘zaro ta’siri jarayoni elastik-plastik deformatsiya modeli asosida nazariy jihatdan tahlil qilingan. Tuproq ko‘p fazali muhit sifatida qaralib, uning asosiy mexanik xossalari - ichki ishqalanish burchagi va kesish qarshiligi parametrlarining ishchi organ harakatiga ta’siri o‘rganilgan. Diskning tuproqqa kirish jarayoni uch bosqichga - dastlabki kirish, chuqurlikka kirish va barqaror ish rejimlariga ajratilib, har bir bosqichda hosil bo‘ladigan kuchlar tizimi aniqlangan. Shuningdek tadqiqot natijasida disk yuzasiga ta’sir etuvchi umumiy qarshilik kuchining tarkibiy qismlari aniqlanib, diskning aylanish sharti momentlar muvozanati asosida asoslab berilgan. Zelenin nazariyasi asosida tuproqni kesish kuchining empirik bog‘lanishi tahlil qilingan va og‘ir qumoq tuproqlar uchun asosiy parametrlarning tavsiya etiladigan qiymatlari belgilangan.

Kalit so‘zlar: diskli plug, tuproq bilan o‘zaro ta’sir, kesish kuchi, tortish qarshiligi, elastik-plastik deformatsiya, qishloq xo‘jaligi mashinalari, ishchi organ.

Аннотация. В данном исследовании теоретически проанализирован процесс взаимодействия сферического дискового рабочего органа с почвой на основе модели упруго-пластической деформации. Грунт рассматривается как многофазная среда, и изучено влияние его основных механических свойств - параметров угла внутреннего трения и сопротивления резанию на движение рабочего органа. Процесс проникновения диска в почву разделен на три этапа - начальный проникновение, проникновение в глубину и устойчивый режим работы, определена система сил, возникающих на

каждом этапе. Также в результате исследования определены составляющие общей силы сопротивления, действующей на поверхность диска, и обосновано условие вращения диска на основе равновесия моментов. На основе теории Зеленина проанализирована эмпирическая зависимость силы резания почвы и определены рекомендуемые значения основных параметров для тяжелых суглинков.

Ключевые слова: дисковый плуг, взаимодействие с почвой, сила резания, тяговое сопротивление, упругопластическая деформация, сельскохозяйственные машины, рабочий орган.

Abstract. This study theoretically analyzed the process of interaction between the spherical disc working element and the soil based on a model elastic-plastic deformation. The soil is considered a multiphase medium, and the influence of its main mechanical properties-internal friction angle parameters and cutting resistance-on the movement of the working element was studied. The process of disk penetration into the soil is divided into three stages: initial penetration, depth penetration, and stable operating mode; the system of forces arising at each stage has been determined. Also, as a result of the research, the components of the total resistance force acting on the disk surface were determined, and the condition for disk rotation was justified based on moment equilibrium. Based on Zelenin theory, the empirical dependence of soil shear force was analyzed, and the recommended values of the main parameters for heavy loams were determined.

Keywords: disc plow, interaction with soil, cutting force, tractive resistance, elastic-plastic deformation, agricultural machines, working part.

KIRISH.

Qishloq xo‘jaligida tuproqqa mexanik ishlov berish jarayonining samaradorligi asosan ishchi organlarning konstruktiv parametrlari va ularning tuproq bilan o‘zaro ta’sir mexanizmlariga bog‘liqdir. Ayniqsa, diskli pluglarning sferik diskli ishchi organlari og‘ir va qattiq tuproqlarda yuqori samaradorlik ko‘rsatishi bilan ajralib turadi. Biroq disk va tuproq o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir jarayonining fizik-mexanik mohiyatini chuqur o‘rganish zamonaviy energiya tejamkor texnologiyalarni yaratishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.

Qishloq xo‘jaligida tuproqqa mexanik ishlov berish jarayoni yer unumdorligini oshirish va yuqori hosil olishning asosiy omillaridan biri hisoblanadi. Tuproqni sifatli ishlov berish uchun qo‘llaniladigan texnik vositalar ichida diskli pluglar alohida o‘rin egallaydi. Ular, ayniqsa, og‘ir, zich va nam tuproqlarda samarali ishlashi bilan ajralib turadi. Diskli ishchi organlarning tuproq bilan o‘zaro ta’siri jarayoni murakkab fizik-mexanik hodisa bo‘lib, unda

ISSN 3030-3907

tuproq zarrachalarining deformatsiyasi, siljishi va kesilishi bir vaqtning o‘zida sodir bo‘ladi.

TADQIQOT OBEKTI VA METODI. So‘nggi yillarda qishloq xo‘jaligida energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish va texnik vositalarning samaradorligini oshirish masalalari dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biri bo‘lib qolmoqda. Bu jarayonda ishchi organlarning konstruktiv parametrlarini ilmiy asosda tanlash muhim ahamiyat kasb etadi. Diskli pluglarning ishlash samaradorligi ularning diametri, qalinligi, hujum burchagi va aylanish sharoitlari kabi ko‘rsatkichlarga bevosita bog‘liqdir. Shu sababli disk va tuproq o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir mexanizmlarini nazariy va eksperimental jihatdan o‘rganish muhim ilmiy vazifa hisoblanadi[1, 2].

Tuproqqa mexanik ishlov berish jarayonlarini tadqiq etishda ko‘plab olimlar tomonidan turli nazariy yondashuvlar ishlab chiqilgan. Xususan, tuproqni kesish jarayonining mexanik asoslari Goryachkin, Zelenin, Revyakin, Sineokov va boshqa tadqiqotchilar tomonidan ishlab chiqilgan nazariy modellar asosida o‘rganilgan. Ushbu nazariyalarda tuproqni kesish jarayoni elastik-plastik deformatsiya sifatida qaralib, kesish kuchi va tortish qarshiligini aniqlash uchun empirik formulalar taklif etilgan.

Diskli plug sferik diskli ishchi organining tuproq bilan o‘zaro ta’siri murakkab elastik-plastik deformatsiya jarayoni bo‘lib, unda bir vaqtning o‘zida kesish, siqish, ko‘tarish va yonga surish hodisalari sodir bo‘ladi. Bu jarayonni to‘liq tushunish uchun tuproqni geterogen ko‘p fazali muhit (qattiq mineral zarralar + suv + havo) sifatida modellashtirish zarur. Tuproqning mexanik xossalarini tavsiflovchi asosiy parametrlar: qarama-qarshi ishqalanish burchagi φ, koheziya c va spetsifik kesish qarshiligi k_0 -keyinchalik barcha hisoblashlarning asosini tashkil etadi [3, 4].

Disk tuproqqa kirish jarayonini uch bosqichga ajratish mumkin.

Birinchi bosqich -tuproqqa dastlabki kirish (initial penetration). Bu bosqichda disk qirrasi tuproq yuzasiga tekkanida, qirra uchining kichik radiusi ($r_{tip} \approx 0{,}3–0{,}8$ mm) tufayli kontakt zonasida juda katta mahalliy bosim hosil bo‘ladi. Ushbu bosim tuproqning qarama-qarshilik chegarasini oshganda tuproq zarralari bir-biridan ajralib, disc tuproqqa kirishni boshlaydi.

Ikkinchi bosqich -ustun bosim ostida chuqurlikka kirish (deep penetration). Disk chuqurlikka kirgani sari zonal kesish va siqish kuchlari ortib boradi.

Uchinchi bosqich-to‘liq ish rejimi. Disk belgilangan chuqurlikka yetgandan keyin statsionar harakatlanish rejimiga o‘tadi.

Goryachkin-Zelenin nazariyasi asosida disk yuzasiga ta’sir etuvchi bosimning taqsimlanishi quyidagi integral ifoda bilan tavsiflanadi:

ISSN 3030-3907

$$P_{um} = \iint A\sigma(x,y)\,dA + \iint A\tau(x,y)\,dA \qquad (1)$$

bunda: $\sigma(x,y)$ - disk yuzasiga normal bosim (Pa);
$\tau(x,y)$ - tangensial (ishqalanish) kuch (Pa);
A -disk-tuproq kontakt yuzasi (m²).

Bu integral yechimning analitik ko‘rinishi son usullarsiz qo‘lga kiritilmasligi sababli muhandislik amaliyotida soddalashtirilgan modellar qo‘llaniladi.

Soddalashtirilgan fizik model doirasida disk yuzasidagi kuch-vektorini ikki komponentga ajratamiz: diskka perpendikulyar normal kuch N va disk tekisligida harakatlanish yo‘nalishi bo‘yicha tangensial kuch T. Bu kuchlarning yig‘indisi disk qirrasi bo‘ylab paydo bo‘ladigan kesish kuchiga qo‘shiladi:

$$R_d = \sqrt{(N^2 + T^2 + F_{cut}^2)} \qquad (2)$$

bunda R_d -bitta diskka tushadigan umumiy qarshilik kuchi (N);
F_{cut} -disk qirrasi tuproqni kesish kuchi (N).
Kesish kuchi F_{cut} ni aniqlash uchun Zelenin formulasidan foydalaniladi:

$$F_{cut} = c_o l \qquad (3)$$

bunda: c_o - tuproqning empirik kesish qarshilik koeffitsienti (kN/m$^{(1+n)}$);
l -kesim eni (m);
a - kesim chuqurligi (m);
b -etalon kenglik (m, odatda b = 0,01 m);
n - Zelenin koeffitsienti (0,35–0,70, tuproq turига bog‘liq). O‘zbekiston og‘ir qumoq tuproqlari uchun c_o = 80–110 kN/m$^{1.5, n}$ = 0,45–0,55 qiymatlari tajribalar bilan tasdiqlangan [2, 3, 4, 5, 6].

Disk aylanishini ta’minlovchi mexanizm. Disk o‘z-o‘zidan aylanishi uchun uni aylantirishga undaydigan aylanish momenti, uni to‘хтатишга qarshilik ko‘rsatuvchi ishqalanish momentidan katta bo‘lishi kerak. Aylantirishga undaydigan moment disk tekisligiga tangensial kuch T ning disk o‘qi atrofidagi momenti:

$$M_{drive} = \frac{TD}{2} cos\alpha cos\beta \qquad (4)$$

Ishqalanish momenti esa podshipnik va o‘q ishqalanishidan kelib chiqadigan $M_{fric} = f{\cdot}b{\cdot}N{\cdot}r$ ifodasi bilan aniqlanadi, bu yerda $f{\cdot}b$ -podshipnik ishqalanish koeffitsienti (0,005–0,012). Oddiy hisobda $M_{drive} > M_{fric}$, ya’ni disk har doim erkin aylanadi -bu diskli plug konstruksiyasining fundamental afzalligini ifodalaydi.

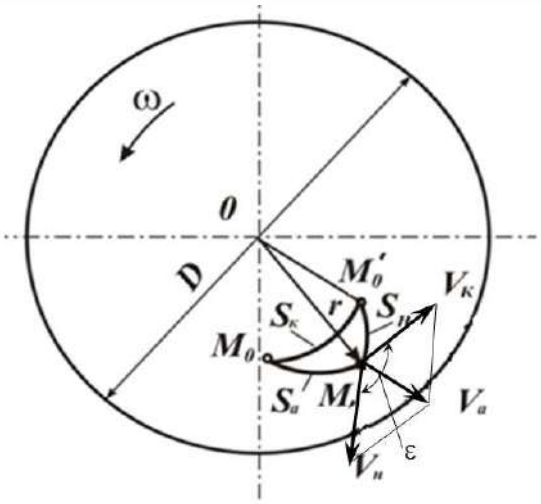
Ish jarayonida sferik disk ilgarilanma va aylanma harakatda bo‘lganligi sababli tuproq zarrachalari uning ishchi sirtida murakkab – u bilan birga aylanma (ko‘chirma) va uning ishchi sirti bo‘ylab nisbiy harakat qiladi.

ISSN 3030-3907

Ma’lumki, sferik disk ishchi sirtining M nuqtasida joylashgan tuproq zarrachasining absolyut tezligi (1-rasm) uning shu nuqtadagi ko‘chirma V_k va nisbiy V_n tezliklarining yig‘indisiga teng, ya’ni

$$V_a = \sqrt{V_k^{\,2} + V_n^{\,2} + 2V_k V_n \cos\varepsilon_c} \qquad (5)$$

bunda ε_c – V_k va V_n tezlik vektorlari orasidagi burchak, gradus;



1-rasm. Sferik disk ishchi sirtidagi tuproq bo‘lagining absolyut tezligini aniqlashga doir sxema

Tuproq bo‘lagining ko‘chirma tezligi

$$V_к = \omega_c r\,, \qquad (6)$$

bunda ω_c – sferik diskning burchak tezligi, rad/s;

r – diskning aylanish o‘qidan qaralayotgan tuproq bo‘lagigacha bo‘lgan radial masofa.

Sferik disk ish jarayonida sirpanishsiz va shataksirashsiz dumalaganligi uchun

$$\omega_c = \frac{2V_{ilg}\cos\alpha}{D} \qquad (7)$$

bunda V_{ilg} – sferik diskning agregat bilan birga ilgarilanma harakati tezligi, m/s;

$V_{ilg}\cos\alpha$ – $\overline{V}_{ilg}$ vektorning agregat harakat yo‘nalishidagi proyeksiyasi;

α – sferik diskning agregat harakat yo‘nalishiga nisbatan o‘rnatilish burchagi, gradus

Demak

$$V_k = \frac{2V_{ilg} r\cos\alpha}{D}. \qquad (8)$$

Nisbiy V_n tezlikni aniqlash uchun M bo‘lakning sferik disk sirtidagi nisbiy harakatining differensial tenglamasini tuzamiz.

Buning uchun A.To‘xtaqo‘ziyev va Sh.Ishmurodovlar tomonidan ishlab chiqilgan usuldan foydalanamiz [7, 8]: tuproqning M bo‘lagi sferik disk egrilik radiusi hosil qilgan yoy bo‘ylab nisbiy harakatda bo‘ladi. Ish jarayonida

ISSN 3030-3907

g‘o‘zapoya ildizlari joylashgan palaxsadagi tuproq bo‘lagi *M* ga qo‘yidagi kuchlar ta’sir etadi: og‘irlik kuchi $G = mg$; sferik diskni aylanishidan hosil bo‘lgan markazdan qochma inersiya kuch F^{I}; tuproq bo‘lagini sferik disk egrilik radiusi *R* hosil qilgan yoy bo‘yicha nisbiy harakatidan hosil bo‘lgan markazdan qochma inersiya kuchi F^{II}.

NATIJALAR.

Olib borilgan nazariy tadqiqotlar diskli plug sferik diskli ishchi organining tuproq bilan o‘zaro ta’siri jarayoni murakkab kuchlar tizimi bilan tavsiflanishini ko‘rsatdi. Disk tuproq bilan kontaktga kirish jarayonida hosil bo‘ladigan qarshilik kuchi asosan uchta asosiy komponentdan iboratligi aniqlandi: normal bosim kuchi, tangensial ishqalanish kuchi va tuproqni kesish kuchi. Ushbu kuchlarning o‘zaro ta’siri natijasida diskka ta’sir etuvchi umumiy qarshilik kuchi shakllanadi.

Nazariy hisoblashlar natijasida disk diametri, ish chuqurligi va tuproqning fizik-mexanik xossalari diskning tortish qarshiligiga bevosita ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Xususan, disk diametri ortishi bilan tuproq bilan kontakt yuzasi kengayadi va natijada qarshilik kuchi ham ortadi. Shu bilan birga, diskning aylanishi ishqalanish qarshiligini kamaytirishi tufayli umumiy energiya sarfi ma’lum darajada pasayadi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, og‘ir qumoq tuproqlarda diskli ishchi organ uchun optimal ish chuqurligi 0,20–0,25 m diapazonda bo‘lishi maqsadga muvofiq ekanligi aniqlangan. Ushbu chuqurlikda tuproqni kesish kuchi barqaror qiymatga ega bo‘lib, tuproqning ag‘darilishi va maydalash jarayoni samarali amalga oshadi. Bundan tashqari, diskning hujum burchagi 18–22° diapazonda bo‘lganda tuproqni ko‘tarish va yon tomonga surish jarayonlari optimal darajada amalga oshishi aniqlangan.

Hisoblash natijalari shuni ko‘rsatdiki, diskning aylanish momenti ishqalanish momentidan katta bo‘lganda diskning erkin aylanishi ta’minlanadi. Bu holat ishchi organning o‘z-o‘zidan tozalanishiga va tuproqning disk yuzasiga yopishib qolmasligiga yordam beradi. Natijada tuproqqa ishlov berish sifati yaxshilanadi va agregatning tortish qarshiligi kamayadi.

Olingan natijalar diskli plug ishchi organining konstruktiv parametrlarini ilmiy asosda tanlash imkonini beradi va qishloq xo‘jaligi texnikalarining energiya samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

XULOSALAR.

Olib borilgan nazariy tadqiqotlar asosida diskli plug sferik diskli ishchi organining tuproq bilan o‘zaro ta’sir jarayonining fizik-mexanik mohiyati o‘rganildi va quyidagi asosiy xulosalar olindi:

ISSN 3030-3907

1. Diskli ishchi organ tuproq bilan o‘zaro ta’sir jarayonida kesish, siqish va yon tomonga surish hodisalari bir vaqtning o‘zida sodir bo‘ladigan murakkab elastik-plastik deformatsiya jarayonini hosil qiladi.

2. Diskka ta’sir etuvchi umumiy qarshilik kuchi normal bosim kuchi, tangensial ishqalanish kuchi va tuproqni kesish kuchining yig‘indisidan iborat bo‘lib, ushbu kuchlar diskning konstruktiv parametrlariga va tuproqning fizik-mexanik xossalariga bog‘liqdir.

3. Og‘ir qumoq tuproqlar sharoitida diskli plug ishchi organining optimal ish chuqurligi 0,20–0,25 m, hujum burchagi esa 18–22° diapazonda bo‘lishi tuproqqa ishlov berish samaradorligini oshirishi aniqlandi.

4. Diskning aylanish momenti ishqalanish momentidan katta bo‘lganda diskning erkin aylanishi ta’minlanadi va bu holat agregatning tortish qarshiligini kamaytirib, energiya sarfini pasaytiradi.

5. Taklif etilgan nazariy yondashuv diskli plug ishchi organining konstruktiv parametrlarini optimallashtirish va tuproqqa mexanik ishlov berish jarayonining energiya samaradorligini oshirishda ilmiy asos sifatida xizmat qilishi mumkin.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI.

1. Маматов Ф.М. Теория и расчет плоских дисковых ножей сельскохозяйственных машин. –Карши: Насаф, 1992.– С.48–52.
2. Горячкин В.П. Теория почвообрабатывающих машин. - Москва: Колос, 1968. - 384 с. 2.
3. Зеленин А.Н. Теория резания почвы - Москва: Машиностроение, 1969. - 304 с. 2.
4. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. - Москва: Машиностроение, 1977. - 328 с. 2.
5. Godwin R.J. A Review of the Effect of Implement Geometry on Soil Failure and Implement Forces. - Soil and Tillage Research, 2007. - Vol. 97. -pp. 331-340.
6. Abdullaev B., Mirzaev B. Research of Soil Cutting Resistance in Central Asian Conditions. - Biosystems Engineering, 2020. - Vol. 192. - pp. 1-9.
7. To‘xtaqo‘ziyev A. Tuproqning sferik disk ishchi sirtidagi harakat tezligi // Mexanika muammolari. – Toshkent, 2009. – №5–6. – B. 75–78.
8. Тухтакузиев А., Насритдинов А.А. Взаимодействие сферического диска с почвой// Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – Москва, 2000. – №6. – С.76–77.

ISSN 3030-3907

AYRIM BIOGEN 3d-METALLARNING BENZOILGIDRAZON HOSILALARI TUZILISHINI O‘RGANISH

Jo‘rayev Aziz Turob o‘g‘li

FJSTI, Tibbiy va biologik kimyo kafedrasi dotsenti, tadqiqotchi

Annotatsiya. Ushbu maqolada oraliq metallarning kompleks birikmalarini olish uchun keng ko‘lamdagi turli terminal o‘rinbosarlar saqlagan ko‘pfunksional polidentat ketoal’degid ligandlarni sintez qilishning samarali usullarini yaratish masalasi chuqur tahlil qilinadi.

Kalit so‘zlar. Tridentat ligandlar, benzoilsirka al’degid aroilgidrazonlari, aroilsirka aldegid, β-ketoal’degid, salitsil al’degid, ketoefir aroilgidrazon, kimyo sanoati, o‘simliklar o‘sishi, paxta, g‘alla, sabzavot.

Аннотация. В данной статье будет проведен углубленный анализ вопроса создания эффективных методов синтеза многофункциональных полидентатных кетоальдегидных лигандов, содержащих широкий спектр различных концевых заместителей для получения комплексных соединений промежуточных металлов.

Ключевые слова. Тридентат лиганды, бензоилсульфоальдегид ароилгидразоны, ароилсульфоальдегид, β-кетоальдегид, салициловый альдегид, кетоэфир ароилгидразон, химическая промышленность, рост растений, хлопок, зерно, овощи.

Abstract. This article analyzes in depth the issue of creating effective methods for synthesizing multifunctional polydentate ketoal'dehyde ligands, which have stored a wide range of different terminal substituents to obtain complex compounds of intermediate metals.

Keywords. Tridentate ligands, benzoylsyrka Al'degid aroilhydrazones, aroilsirka aldehyde, β-ketoal'degid, salicyl Al'degid, ketoefir aroilhydrazon, chemical industry, plant growth, cotton, wheat, vegetable.

KIRISH.

Dunyoda kimyo, kimyoviy texnologiya, farmakologiya va qishloq xo‘jaligida ishlatiladigan kompleks birikmalar tadqiqoti olimlarni diqqat e’tiborida bo‘lib, ularning sintezi va qo‘llanilishi jadal rivojlanmoqda. Chunki, havo va tuproq strukturasini buzilishi, shuningdek, yer maydoni va suv resurslari kabi tabiiy manbalarining cheklanganligi insoniyatning oziq-ovqat, qishloq xo‘jaligi mahsulotlariga bo‘lgan talablarini yildan-yilga ortib borayotganligi yerdan unumli foydalanish, yerlarning meliorativ holatini va tuproq unumdorligini oshirish orqali ekinlar hosildorligini oshirishga katta e’tibor qaratilmoqda. Ayrim d- va f-metallarning organik ligandlar bilan hosil qilgan kompleks birikmalari qishloq xo‘jaligida yetishtiriladigan texnik ekinlarni hosildorligini oshirishga xizmat qiladigan, arzon, mahalliy xom ashyolardan

ISSN 3030-3907

sintez qilinib, atrof-muhit va istemolchilarga salbiy ta'sir ko'rsatmaydigan biologik faol stimulyatorlar yaratish bugungi kunning dolzarb masalalaridan hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasining uchinchi **yo'nalishida** «tarkibiy o'zgartirishlarni chuqurlashtirish va qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini izchil rivojlantirish, mamlakat oziq-ovqat xavfsizligini yanada mustahkamlash, ekologik toza mahsulotlar ishlab chiqarishni kengaytirish, agrar sektorning eksport salohiyatini sezilarli darajada oshirish» ga qaratilgan muhim vazifalar belgilab berilgan. Bu borada mamlakatimizda mavjud xom-ashyolar asosida paxta, g'alla, sabzavot va poliz ekinlari uchun yuqori samarali, ekologik toza, polifunksional ta'sirli o'simliklarni o'stiruvchi stimulyatorlarni yaratish muhim ahamiyat kasb etadi [1,2].

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Respublikamizda organik ligandlar asosida metall ionlari bilan kompleks birikmalarning sintezi va tadqiqoti sohasidagi ilmiy ishlarni amalga oshirish hamda rivojlantirish borasida N.A. Parpiyev, H.T. Sharipov, O.F. Xodjayev, O.A. Shobilolov, B.B. Umarov, T.A. Azizov, H.X. To'rayev, Sh.A. Qodirovalar shug'ullanishmoqdalar. Ushbu olimlarimiz tomonidan yangi ko'pfunksional polidentat ligandlar, shuningdek ularning oraliq metallar bilan komplekslari olingan, ularning tuzilishi hamda xossalari atroflich o'rganilgan va tahlil qilingan.

Xorijiy mamlakatda ushbu yo'nalishda Geraldes C. F., Barros M. T., Agrawal A., Prasad R.N., Dutta R.L., Hamza S.M., Woodruff D. N., Stadler A.-M., Iskander M.F kabi olimlar keng ishlarni amalga oshirishdilar. Ular tomonidan ko'pdentatli ligandlarning metal komplekslari, Ni, Zn, Cu, Co, Fe, Mn, V kabi metallar komplekslari katalitik va biologik faol xossalari o'rganilgan.

Sintez qilingan erkin ligandlar va ular asosidagi kompleks birikmalarning biofaolligi, kimyoviy va katalitik xossalari butunlay boshqa yo'nalishlarda o'zgarishini ta'minlaydi. Chunki markaziy atom ligandlarning donor atomlari bilan mustahkam donor-aksteptor bog'lar tizimi bo'ylab elektron almashinuv sodir bo'ladi. Natijada butun kompleks birikma molekulasi ichida yaxlit koordinasion sfera hosil bo'ladi va bu hodisa "koordi-nastion birikmalarning elektron effekti" deyiladi. Elektron effekt ta'sirida olingan kompleks birikmalarning termodinamik va kinetik xossalari o'zgaradi. Metall aralashmalaridan ayrim ionlarni ajratib olish, bundagi ligandlarning selektivligini oshirish, tirik organizmlarni uchraydigan murakkab tuzilishdagi moddalar modellarini yaratish, ulardagi bioelementlarning ta'sirchanligini turli yo'nalish-larda o'zgartirish bu kundagi kimyogarlar oldiga qo'yilgan muhim muammolar-ning biri hisoblanadi. Shuning uchun ham bu xildagi polifunksional ko'p dentatli

ISSN 3030-3907

ligandlar bilan oraliq metallar koordinasion birikmalari tadqiqoti sintetik kimyo-ning o‘ta dolzarb muammosi hisoblanadi [4-7].

2,4-dioksopentan kislota efirlarining *para*-almashingan benzoy kislota gidrazidlari bilan o‘zaro kondensatlanishidan olingan organik tridentat ligandlar asosida Ni(II), Cu(II), Zn(II), Mn(II) va Co(II) metallar bilan kompleks birikmalar kimyoviy jarayonlarda katalizator, o‘simliklarni o‘sishini tezlashtiruvchi biofaol moddalar, turli mikroorganizmlarga qarshi baktritsid va fungitsidlar kabi yuqori samara beradigan preparatlarni olishda va tibbiyotda keng miqiyosida ishlatilish masalariga alohida e’tibor qaratilmoqda. Shuning uchun turli terminal o‘rinbosarlar saqlagan ko‘pfunksional polidentat ketoeferlarni sintez qilishning samarali usullarini yaratish dolzarb vazifalardan hisoblanadi.

Ta’kidlash joizki, Respublikamizda qishloq xo‘jaligi ekinlarini kimyoviy himoyalash va urug‘lar unishi va o‘simliklarning o‘sishini tezlashtiruvchi preparatlar ishlab chiqarish hali yetarli darajada deb bo‘lmaydi. O‘zbekiston Respublikasini rivojlantirishning Harakatlar strategiyasida «yuqori texnologiyali qayta ishlash tarmoqlarini, eng avvalo, mahalliy xom ashyo resurslarini chuqur qayta ishlash asosida yuqori qo‘shimcha qiymatli tayyor mahsulot ishlab chiqarishni jadal rivojlantirishga qaratilgan sifat jihatidan yangi bosqichga o‘tka-zish orqali sanoatni yanada modernizatsiya va diversifikatsiya qilish», «prinsipial jihatdan yangi mahsulot va texnologiya turlarini o‘zlashtirish» va «mamlakat oziq-ovqat havfsizligini yanada mustahkamlash, ekologik toza mahsulotlar ishlab chiqarishni kengaytirish» ga qaratilgan muhim vazifalar belgilab berilgan[1,2]. Bu borada respublikamiz iqtisodiyotning yetakchi tarmoqlarini, jumladan, kimyo va farmasevtika sanoatini rivojlantirishda, yo‘naltirilgan organik sintezlar asosida yangi ligandlar olish, ularning eritmadagi va qattiq holatdagi tarkib-tuzilish-xossalarini tadqiq qilish hamda ba’zi 3d-metallar bilan kompleks birikmalarini amaliyotga qo‘llash dolzarb vazifalardan bo‘lib, muhim ahamiyat kasb etadi. [4-5].

TADQIQOT METODOLOGIYASI

2,4-dioksopentan kislota etil efirining *para*-almashingan benzoy kislota gidrazidlari bilan kondensat-lanish mahsulotlarining geometrik tuzilishi eritmada gidrazon, chiziqli yengidrazin va halqali 5-gidroksi-2-pirazolin tautomer shaklda uchrashi isbotlandi.

Ketoefirlarning *para*-almashingan aroilgidrazonlari kristall holatda va deteriylangan xloroformdagi ($CDCl_3$) eritmasida halqali 5-gidroksi-2-pirazolin tuzilishda, qutbli erituvchi DMCO-d_6 dagi eritmasida esa gidrazon va chiziqli yengidrazin tautomer muvozanatda bo‘lishi IQ-, YaMR-^{1}H spektroskopiyalari va RSA orqali aniqlandi.

ISSN 3030-3907

2,4-dioksopentan kislota etil efirining *para*-almashingan benzoy kislota gidrazidlari bilan kondensatlanishi amalga oshirildi, olingan ligandning qattiq holatda va eritmadagi tautomer shakllari IQ-, YaMR-^{1}H va RSA usullari yordamida tadqiq qilindi va isbotlandi. Ikkita organik ligandning monokristallari o‘stirilda, RSA ma’lumotlari Kembrij kristall strukturalar bazasiga kiritildi. Sintez qilingan tridentat ligandlarning kompleks hosil qilish imkoniyatlari aniqlandi.

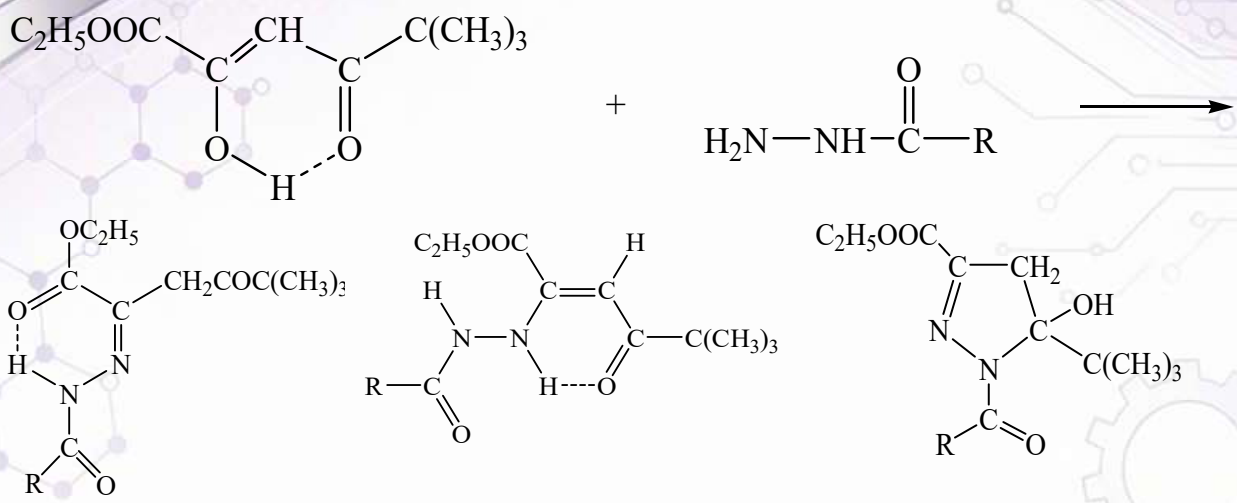
MUHOKAMA VA NATIJALAR

1,3-diketonlar atsil- va benzoilgidrazonlarida halqa-zanjir tautomer muvo-zanatning mavjudligi ularga bo‘lgan qiziqishning ortishiga sabab bo‘lmoqda. Ayniqsa bu qiziqishga benzoilgidrazonlarning nozik tuzilishi va turli tautomer shakillarning erituvchi tabiati va o‘rinbosarlari ta’sirida o‘zgarishi bunga sabab bo‘ladi. 1,3-diketonlar aroilgidrazonlari dikarbonil komponenti tuzilishiga qarab, ularda uchlik halqa-zanjir muvozanati ya’ni, chiziqli tuzilishli, gidrazon (A) va engidrazin (Б) hamda halqali 5-gidroksi-2-pirazolin (B) tautomer holatlar orasida kelib chiqadi. Bunday juftdagi prototrop tautomer muvozanat 1,3-ketoefirlar, hamda 1,3-ketoaldegidlar atsil- va aroilgidrazonlarida ham uchraydi [9-11].

5,5-dimetil-2,4-dioksogeksan kislota etil efirini bilan benzoy kislot gidrazidi va *para*-nitrobenzoilgidrazidlarning (H_2L^1–H_2L^2) o‘zaro kondensatlanishidan sintez qilingan mahsulotlarning tautomer tuzilishini ko‘rib chiqamiz. Biz 5,5-dimetil-2,4-dioksogeksan kislota etil efiri bilan aroilgidrazinlarning o‘zaro reaksiyasi va olingan mahsulotlarning tuzilish IQ spektri tahliliga ko‘ra ishonch bilan aytishimiz mumkinki, gidrazidla bilan ketoefirlarning kondensatlanishi reaksiyasi murakkab efirga qo‘shni karbonili hisobidan amalga oshadi, bunga sabab uchlamchi-butil radikalining effektiv hajmi bu yo‘nalish bo‘yicha reaksiya bormasligini belgilaydi.

Halqa-chziqli zanjir tautomer muvozanat holat gidrazinli o‘rinbosar saqlagan birikmalar orasidagi bog‘lanish munosabatlarini o‘rganish imkonini beradi. Ishonch bilan aytish mumkinki, PMR spektroskopiyasi ma’lumotlariga ko‘ra erkin 1,3-ketoefirlar, aynan 5,5-dimetil-2,4-dioksogeksan kislota etil efirini benzoilgidra-zoni halqa-chiziqli tautomer shaklda bo‘ladi. Sintez qilingan aroilgidrazonlar tarkibi va tuzilishi element analizi, IQ- va PMR spektroskopiyasi yordamida o‘rganilganda quyidagi tautomer shakllar muvozanat holatga ega [11-13]:

ISSN 3030-3907



A_Z Б В

R= C_6H_4X-*para*, H (H_2L^1), NO_2 (H_2L^2);

1-sxema

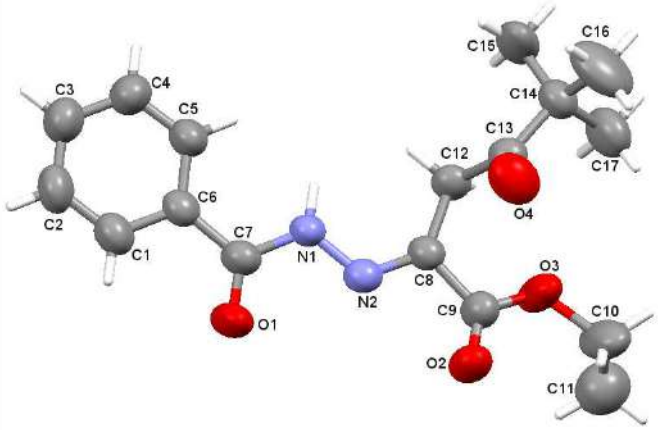
H_2L^1 birikmani KBr bilan presslangan tabletkasida olingan IQ spektri ma'lumotlariga ko'ra bir qancha yutilish chiziqlari kuzatildi. Sintez qilingan moddalar valent tebranishlaridagi C_2H_5COO -etoksil guruhi C=O bog'i 1750-1765 sm^{-1} sohada kuzatiladi. Ular infraqizil spektrlari uchun xarakterli bo'lgan ~3400 sm^{-1} $\nu_{(O-H)}$ sohadagi keng yutilish chiziqlari-5-gidroksi-2-pirazolin tautomer shaklning gidroksil guruhiga mos keladi, amid fragmenti yutilish chiziqlari esa 1660-1680 sm^{-1} $\nu_{(C=O)}$ sohada kuzatiladi.

Spektrning 1730-1750 sm^{-1} sohasidagi intensiv tebranish chastotasi olingan moddalarning erkin keton guruhi mavjudligini isbotlaydi. 2950 va 3030 sm^{-1} sohadagi alohida yutilish chiziqlari CH_3 va CH- fragmetlarning valent tebranish chastotalariga taalluqli ekanligini qayd qilamiz. Qo'shbg'larning tebranish chastotalariga mos keluvchi 1633 sm^{-1} sohadagi intensiv yutilish C=N- bog' mavjudligini isbotlaydi. Ammo IQ spektroskopiya natijalariga ko'ra kondensatlanish reaksiyasining regioyo'nalishini aniqlash birmuncha muammoli bo'lib qolganligi uchun H_2L^1 ligandning gidrazon (A_Z) tuzilishini tasdiqlash maqsadida $C_{17}H_{22}N_2O_4$ monokristallarini o'stirdik va uni RSA usuli bilan o'rganib chiqdik. Ligand kristallari tetragonal singoniyali bo'lib, quyidagicha yacheyka quyidagicha parametrlarga ega: a=9,6114(10), b=9,6114(10), c= 18,1664(6) Å, *V*=1718,2(4) Å^3, Z=2, faza. guruh $P4_3$, R_{int}=0,035.

Bog' uzunliklari solishtirilganda O(2)–C(9) (1,203 Å), O(4)–C(13) (1,207 Å), N(2)–C(8) (1,290 Å) qo'sh bog' ekanligiga ishonch hosil qildik, ammo O(1)–C(7) (1,224 Å), bu parametrlardan biri oz farqli bo'lib chqdi. Buning asosiy sababi shundaki, kristall molekulasining atsil- qismidagi C=O fragmentining π-bog' qisman zaiflashgan, chunki bu electron jufti aromatik benzol halqasining yaxlit π-elektron buluti bilan π-π-tutash tizim hosil qiladi C(7) atomi esa sp^2-gibridlangan

ISSN 3030-3907

holatda bo‘ladi. Provard natijada bu fragmentdagi atomlar orasida o‘zaro koplanarlik vujudga keladi. Fazoda trigonal-tekis tuzilishdagi C(9) va C(13) atomlari ham xuddi shunday lokallashgan tutash tizimlar hosil bo‘ladi, buning oqibatida molekulaning β-ketoefir qismida ham alohida koplanarlik kuzatiladi. 1,a-rasmdan ko‘rinadi, haqiqatdan ham, H_2L^1 ligand molekulalari chiziqli gidrazon shaklda kristallanadi [12].



1-rasm. 5,5-dimetil-2,4-dioksogeksan kislota etil efiri benzoilgidrazonining (H_2L^1) kristall strukturasining tuzilishi.

Olingan moddalarning eritmadagi tuzilishni aniqlash uchun PMR spektros-kopiyasini qo‘lladik. Ligandlarning CCl_4+DMSO-d_6 eritmasidagi PMR spektri, chunonchi H_2L^4 ning spektrida ham δ 2,90 va 3,29 m.h. maydonidagi CCTK J_{AB}=19 Gts bo‘lgan AB-sistemaga xos signallar qayd etildi [12].

Bu signallar pirazolin halqasining 5-holatidagi asimmetrik (C*) atomi bilan qo‘shni CH_2-guruhi borligini isbotlaydi. $C(CH_3)_3$ o‘rinbosarning 9 ta protoni δ 1,03 m.h., geterotsklning 5-C atomi bilan bog‘langan OH-funksional protoni δ 6,00 m.h., β-ketoefir qoldig‘ininng C_2H_5-radikali protonlari intensivligi 3:2 kabi δ 1,26 va 3,84 m.h. maydonida triplet va kvadruplet shaklda signallarni nomoyon qiladi. Atsil- qismidagi fenil halqasining protonlaridan δ 7,34; 7,42 va 7,91 m.h. maydonida mul’tiplet signallar qayd etildi. Ammo shu bilan birga H_2L^4 PMR spektridagi yakka N–H-bog‘iga tegishli δ 11,18 m.h. maydondagi singlet signal birikmaning qisman gidrazon (A_Z) tautomer shaklda bo‘lishni isbotlaydi. Olingan material muhkamasidan ko‘rinadiki, DMSO-d_6 kabi qutbli erituvchida ham 5,5-dimetil-2,4-dioksogeksan kislota etil egiri aroilgidrazonlarining engidrazin (B) tautomer shaklning mavjudligini ta’minlay olmaydi [12-13].

XULOSA

Olingan polifunksional tridentat organik ligandlarning geometrik tuzilishi halqali 5-gidroksi-2-pirazolin tautomer shaklda bo‘lishi kuzatildi. Ketoefirlarning *para*-almashingan benzoy kislota gidrazidlari kristall holatda IQ spektrlari tahlili halqali pirazolin tushilishga ega ekanligini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907

Sintez qilingan tridentat organik ligandlar deteriylangan xloroformdagi ($CDCl_3$) eritmasidan olingan YaMR-^{1}H spektroskopiyasi ma'lumotlarida AB-sistema hosil bo'lishi, halqali 5-gidroksi-2-pirazolin tautomer shaklda ekanligini isbotlaydi.

Qayta kristallash natijasida ajratib olingan H_2L^1 va H_2L^3 ligandlarning monokristallari o'stirilda va rentgenstruktur analiz usulida (RSA) tadqiq qilindi. RSA ma'lumotlari olingan ligandlar halqali 5-gidroksi-2-pirazolin shaklda ekanligini ko'rsatdi, IQ spektroskopiya xulosalarini tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Mirziyoev Sh.M. Tanqidiy tahlil, qat'iy tartib-intizom va shaxsiy javobgarlik – har bir rahbar faoliyatining kundalik qoidasi bo'lishi kerak. Mamla-katimizni 2016 yilda ijtimoiy-iqtisodiy rivojlantirishning asosiy yakunlari va 2017 yilga mo'ljallangan iqtisodiy dasturning eng muhim ustuvor yo'nalishlariga bag'ishlangan Vazirlar Mahkamasining kengaytirilgan majlisidagi ma'ruzasi, 2017 yil 14 yanvar. Sh.M. Mirziyoyev.- Toshkent: O'zbekiston. 2017. -104 b.

2. 2017 yil 23 avgustdagi "2017-2021 yillarda kimyo sanoatini rivojlantirish dasturi to'g'risida" gi PQ-3236 qarori.

3. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018 yil 25 oktyabrdagi "O'zbekiston Respublikasining kimyo sanoatini tezkor rivojlantirish chora tadbirlari to'g'risida" gi PQ-3983 qarori.

4. Умаров Б.Б., Эргашов М.Я., Кароматов С.А. Строение и таутомерия ацилгидразонов формилпинаколина.- Бухоро давлат университети илмий ахбороти.-2019.- №1(73).- Б. 59-66.

5. Ершов А.Ю., Лагода И.В., Якимович С.И., Зерова И.В., Пакальнис В.В., Шаманин В.В. Строение продуктов конденсации альдегидов, кетонов и альдоз с гидразидом 3-меркаптопропионовой кислоты // Журн. орг. химии.- 2009.- Т. 45.- № 5.- С. 754-756.

6. Алексеев В.В., Зеров А.В., Пакальнис В.А., Якимович С.И. Взаимо-действие ароилуксусных альдегидов с гидразидом 2-аминобензойной кислоты / Тез. докл. Третьей Всерос. научной конф. с междунар. участием "Успехи синтеза и комплексообразования".- Москва, Россия.- РУДН.- 21-25 апреля 2014.- С.102.

7. Умаров Б.Б., Турсунов М.А., Минин В.В. Комплексы с производными кетоальдегидов и кетоэфиров. – Ташкент.- Нишон ношир.- 2016. -350 с.

8. Турсунов М. А., Авезов К. Г, Умаров Б. Б., Парпиев Н. А. Спектры ПМР и кристаллическая структура комплекса никел(II) с ароилгидразонами этилового эфира 5,5-диметил-2,4-диоксогексановой кислоты. Координацион-ная химия, 2017, том 43, № 2, с. 99–102.

ISSN 3030-3907

9. Шокова Э.А., Ким Дж. К., Ковалев В.В. 1,3-дикетоны. Синтез и свойства // Журн. орг. химии.- 2015.- Т. 51.- № 6.- С. 773-847.
10. Tursunov M. A., Avezov K. G., Umarov B. B. and ParpievN. A. ^{1}H NMR Spectra and Crystal Structure of the Nickel(II) Complex with Ethyl 5,5-Dimethyl-2,4-Dioxohexanoate Aroylhydrazones. Russian Journal of Coordination Chemistry, 2017, Vol. 43, No. 2, pp. 93–96.
11. Алиев З.Г., Гейн В.Л., Носова Н.В., Потемкин К.Д., Кривенко А.П. Конденсация 1,1,1-трифтор-2,4-пентандиона с бензальдегидом // Журн.орг. химии.- Санкт-Петербург.- 2006.- Т. 42.- № 9.- С. 1425-1426.
12. Реутов О.А., Курц А.А., Бутин К.П. Органическая химия. Учеб. пособие для ВУЗов.- М.: Изд-во МГУ, 1999.- часть I.- 560 с.
13. Дустов Х. Кристаллохимия комплексов металлов с гидразонами. Дис. … докт. хим. наук.- Ташкент.- ИУ АН РУз.- 1996.- 376 с.
14. Севинчов Н.Г., Умаров Б.Б., Авезов К.Г., Абдурахмонов С.Ф. Кетоальдегид ва кетоэфирларнинг хосилалари ва комплекслари / Материалы I Респ. конф. с международным участием “Зеленая химия в интересах устойчивого развития”.- СамГУ, Самарканд.- 26-28 марта 2012.- С. 242-243.
15. Турсунов М.А., Умаров Б.Б., Якимович С.И., Севинчов Н.Г., Зерова И.В., Абдурахмонов С.Ф., Парпиев Н.А. Синтез и исследование *пара*-замещенных бензоилгидразонов этилового эфира 2,4-диоксопентановой кислоты // Современные технологии и инновации горно–металлургической отрасли.- НавГГИ, Навои. 14-15 июня. 2012.- С. 349-350.

MURAKKAB DASTURIY TIZIMLARDA BOG‘LIQLIK TUZILISHINI O‘RGANISH

Matyoqubov Og‘abek Bahrombek o‘g‘li
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti, stajor-o‘qituvchi

ogabekbahrombekogli@gmail.com
Jumanazarova Munojatxon Ergash qizi
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti, talaba
jumanazarovamunojatxon@gmail.com
Qahramanova Farangiz Hikmat qizi
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti, talaba
farangizqahramanova01@gmail.com
Sitchanov Nuraddin Ikrom O‘g‘li
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti, talaba
nuraddinsitchanov557@gmail.com

Annotatsiya

Ushbu tezisda murakkab dasturiy tizimlarda bog‘liqlik tuzilishini tahlil qilishning zamonaviy usullari va ularning arxitektura barqarorligi, texnik qarz hamda o‘zgarish xarajatlariga ta’siri o‘rganilgan. Tadqiqot Design Structure Matrix (DSM) va grafik-nazariy metrikalar asosida amalga oshirilgan. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, bog‘liqlik metrikalarini muntazam monitoring qilish va markaziy komponentlarni nazorat ostida boshqarish orqali tizim sifatini oshirish hamda evolyutsion xavflarni kamaytirish mumkin. Tezis doirasida 30 dan ortiq ilmiy manbalar tahlil qilinib, zamonaviy yondashuvlar taqqoslangan.

This thesis studies modern methods for analyzing the dependency structure in complex software systems and their impact on architectural stability, technical debt, and change costs. The research is based on the Design Structure Matrix (DSM) and graph-theoretic metrics. The results show that by regularly monitoring dependency metrics and controlling central components, it is possible to improve system quality and reduce evolutionary risks. More than 30 scientific sources were analyzed and modern approaches were compared.

В данной диссертации изучаются современные методы анализа структуры зависимостей в сложных программных системах и их влияние на архитектурную стабильность, технический долг и затраты на изменения. Исследование основано на матрице структуры проектирования (DSM) и графотеоретических метриках. Результаты показывают, что регулярный мониторинг метрик зависимостей и контроль центральных компонентов позволяют улучшить качество системы и снизить эволюционные риски. Было проанализировано более 30 научных источников и проведено сравнение современных подходов.

Kalit so‘zlar

Kalit so‘zlar*: bog‘liqlik tuzilishi, Design Structure Matrix, grafik-nazariy metrikalar, arxitektura barqarorligi, texnik qarz, markaziylik, nuqson bashorati, modulizatsiya, FAN-IN, FAN-OUT, tizim evolyutsiyasi*

Keywords*: dependency structure, Design Structure Matrix, graph-theoretic metrics, architectural stability, technical debt, centrality, fault prediction, modularization, FAN-IN, FAN-OUT, software evolution*

Ключевые слова*: структура зависимостей, матрица структуры проектирования, графотеоретические метрики, архитектурная стабильность, технический долг, центральность, прогнозирование дефектов, модуляризация, FAN-IN, FAN-OUT, эволюция программного обеспечения*

1. Kirish

Zamonaviy dasturiy tizimlar yuqori modullilik darajasi, ko‘p qatlamli arxitektura va murakkab ichki bog‘liqliklar bilan tavsiflanadi. Tizim tarkibidagi minglab

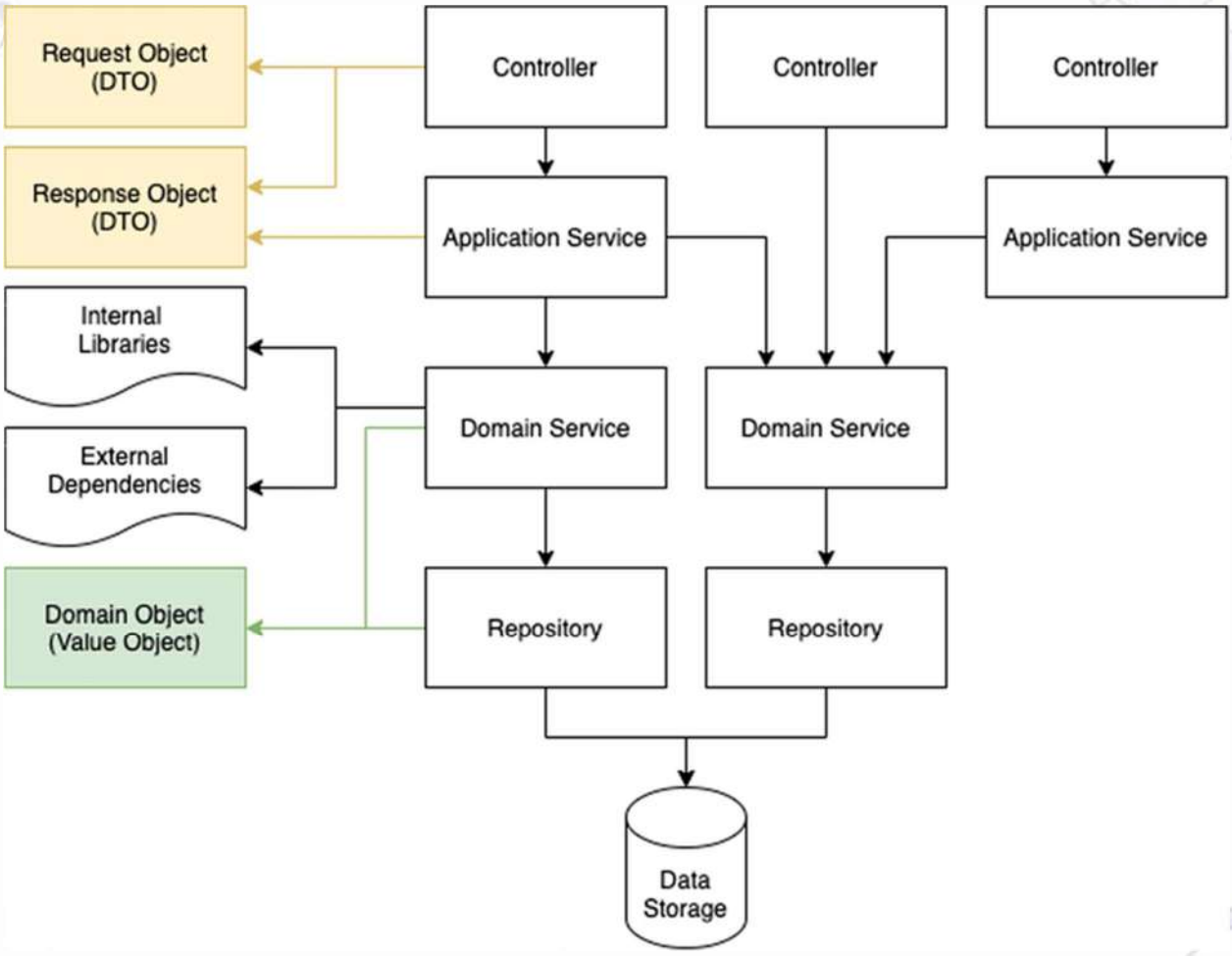
ISSN 3030-3907

komponentlar o‘zaro statik va dinamik bog‘lanishlar orqali ishlaydi. Ushbu bog‘liqliklarning tuzilishi tizimning barqarorligi, kengaytirilish imkoniyati, texnik qarz darajasi va o‘zgarish xarajatlariga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

Murakkab tizimlarda noto‘g‘ri boshqarilgan bog‘liqliklar arxitektura degradatsiyasiga, ortiqcha markazlashuvga va texnik qarzning tez to‘planishiga olib keladi. Empirik tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, bog‘liqlik tuzilmasini to‘g‘ri tahlil qilish orqali o‘zgarish xarajatlarini 20–30% gacha kamaytirish hamda nuqsonlarni aniqlash aniqligini oshirish mumkin.

Quyidagi rasm murakkab dasturiy tizimdagi komponentlar va ularning o‘zaro bog‘liqligini grafik ko‘rinishda tasvirlaydi.

Rasm 1. Murakkab dasturiy tizimdagi bog‘liqliklar tarmog‘i



Tugunlar (node) komponentlarni, qirralar (edge) esa ularning bog‘liqligini bildiradi. Yuqori darajada bog‘langan komponentlar arxitekturaning markaziy qismini tashkil etadi.

Ushbu tezisning maqsadi murakkab dasturiy tizimlarda bog‘liqlik tuzilishini o‘rganish usullarini tizimli ravishda tahlil qilish va amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

2. Muammoning qo‘yilishi

ISSN 3030-3907

Murakkab dasturiy tizimlarda bog‘liqlik tuzilishini tahlil qilish quyidagi muammolarni hal qilishga qaratilgan:

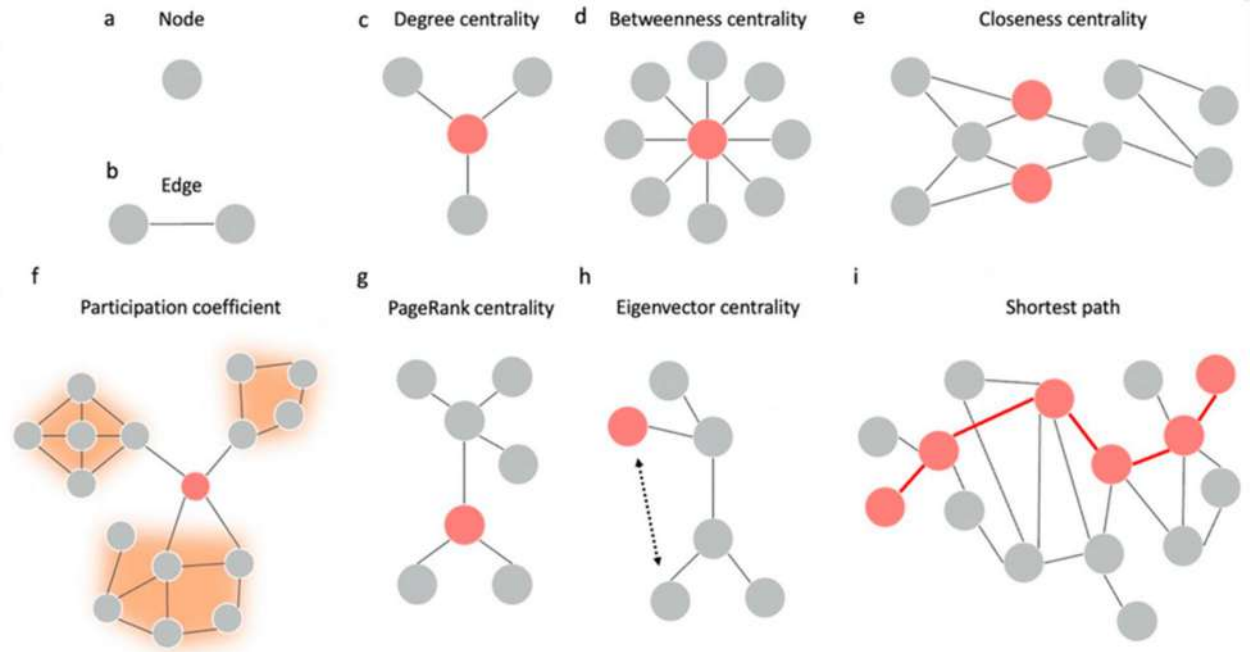
2.1. O‘zgarish xarajatlarini bashorat qilish

Dasturiy tizimlar doimiy ravishda o‘zgarishga uchraydi. Har bir lokal o‘zgarish boshqa komponentlarga ham ta’sir qiladi. Agar bog‘liqliklar chuqur tahlil qilinmasa, domino effekti yuzaga keladi va kutilmagan xarajatlar paydo bo‘ladi. Bog‘liqlik zichligi (dependency density) va modul o‘rtacha darajasi o‘zgarish xarajatlari bilan to‘g‘ri proporsional ekanligi ko‘plab tadqiqotlarda isbotlangan.

2.2. Nuqson xavfini aniqlash

Nuqsonlar odatda yuqori markaziylikka ega komponentlarda to‘planadi. Grafik nazariyasida bu tugunlar “hub” sifatida qaraladi.

Rasm 2. Markaziy komponentlar va nuqson xavfi



Qizil rang bilan ajratilgan tugunlar yuqori markaziylik ko‘rsatkichiga ega bo‘lib, tizimning muhim bog‘lovchi elementlari hisoblanadi.

Yuqori markaziylik ko‘rsatkichlari:

- Degree centrality
- Betweenness centrality
- Eigenvector centrality

Ushbu metrikalar nuqsonlarni bashorat qilishda samarali indikator bo‘lib xizmat qiladi.

2.3. Texnik qarzni boshqarish

Texnik qarz — qisqa muddatli yechimlar natijasida yuzaga keladigan uzoq muddatli arxitektura murakkabligi. Arxitektura texnik qarzi (ATD) bog‘liqliklarning ortiqcha markazlashuvi va siklik tuzilmalarning ko‘payishi orqali namoyon bo‘ladi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki:

- FAN-IN o‘rtacha 57.5% ga oshadi
- FAN-OUT 26.7% ga oshadi

Bu esa tizimni markazlashtiradi va qayta foydalanish imkoniyatini kamaytiradi.

2.4. Tizim evolyutsiyasini boshqarish

Tizim vaqt o‘tishi bilan rivojlanadi va bog‘liqlik grafi o‘zgaradi. Evolyutsion jarayonlarni grafik metrikalar orqali kuzatish mumkin.

Rasm 3. Design Structure Matrix (DSM) modeli

	A	B	C	D	E	F	G
Element A	A	1				1	
Element B		B		1			
Element C	1		C				1
Element D				D	1		
Element E		1			E	1	
Element F			1			F	
Element G	1				1		G

DSM matritsasi komponentlar o‘rtasidagi bog‘liqliklarni kvadrat matritsa ko‘rinishida ifodalaydi. Diagonal elementlar komponentlarni, diagonal tashqarisidagi elementlar esa bog‘liqliklarni bildiradi.

DSM yordamida:

- Siklik bog‘liqliklarni aniqlash
- Modulizatsiya qilish
- Arxitektura barqarorligini baholash

mumkin.

Degree Centrality:

$$C_D(v) = \frac{deg(v)}{n-1}$$

Betweenness Centrality:

$$C_B(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}$$

Bu yerda:

- $deg(v)$ — tugun darajasi
- σ_{st} — eng qisqa yo‘llar soni
- $\sigma_{st}(v)$ — v orqali o‘tuvchi yo‘llar

3. Tahlil Usullari

Murakkab dasturiy tizimlarda bog‘liqlik tuzilishini tahlil qilish uchun turli metodologiyalar ishlab chiqilgan. Ushbu bo‘limda amaliyotda keng

ISSN 3030-3907

qo‘llaniladigan va samaradorligi empirik tadqiqotlar orqali tasdiqlangan asosiy usullar ko‘rib chiqiladi.

3.1. Design Structure Matrix (DSM)

Design Structure Matrix (DSM) — arxitektura elementlari o‘rtasidagi bog‘liqliklarni kvadrat matritsa shaklida ifodalovchi strukturaviy tahlil usuli hisoblanadi. DSM yordamida tizimning moslashuvchanligi, o‘zgarish xarajatlari hamda siklik bog‘liqliklar aniqlanadi va baholanadi.

Lagerström va hamkasblari tomonidan olib borilgan tadqiqotda DSM yordamida dasturiy ta’minot portfeli arxitekturasi tahlil qilingan [1]. Ular BioPharma kompaniyasining korxona arxitekturasini “yadro–periferiya” (core-periphery) modeli asosida tasniflashgan. Tahlil natijalariga ko‘ra, yadro qismida joylashgan ilovalar yuqori o‘zgarish xarajatlari bilan tavsiflanadi, bu esa past arxitektura moslashuvchanligini (flexibility) anglatadi. DSM usuli o‘zgarish xarajatlarini bashorat qilishda an’anaviy bog‘liqlik o‘lchovlariga nisbatan ustunlikka ega ekanligi ko‘rsatilgan [1].

DSM ning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

- Arxitektura tuzilmasini aniq va tizimli ko‘rsatish
- Siklik bog‘liqliklarni aniqlash hamda ularni kamaytirish imkoniyati
- O‘zgarish xarajatlarini miqdoriy baholash
- Ierarxik tartiblash orqali modulizatsiya sifatini oshirish

Laval va hamkasblarining tadqiqotida DSM ning boyitilgan (enriched) varianti taklif etilgan bo‘lib, u siklik bog‘liqliklarning kelib chiqish sabablarini aniqlashda yanada samarali ekanligi ko‘rsatilgan [11]. Ushbu yondashuv teskari muhandislik (reverse engineering) jarayonlarida qo‘llanilib, murakkab bog‘liqlik zanjirlarini tahlil qilishni soddalashtiradi.

3.2. Grafik-nazariy metrikalar

Grafik-nazariy yondashuvda dasturiy ta’minot tizimi graf modeli asosida qaraladi: bunda tugunlar (nodes) komponentlarni, qirralar (edges) esa ular orasidagi bog‘liqliklarni ifodalaydi. Ushbu yondashuv tarmoq fanlari (network science) metodlarini dasturiy arxitekturani tahlil qilishda qo‘llash imkonini beradi.

Asosiy metrikalar quyidagilar:

1. **Daraja (Degree)** – komponentning boshqa komponentlar bilan bog‘liqliklar soni. In-degree (kiruvchi bog‘liqliklar) va out-degree (chiquvchi bog‘liqliklar) alohida ko‘rib chiqiladi. Ushbu ko‘rsatkich o‘zgarish tarqalish ehtimolini baholashda muhim ahamiyatga ega.
2. **Markaziylik (Centrality)** – komponentning tarmoqdagi ahamiyat darajasini ifodalaydi. Betweenness centrality, closeness centrality va PageRank

ISSN 3030-3907

kabi turli markaziylik o‘lchovlari mavjud bo‘lib, ular kritik komponentlarni aniqlashda qo‘llaniladi.

3. **Bog‘langanlik (Connectivity)** – tizimning umumiy bog‘lanish darajasini ko‘rsatadi. Kuchli bog‘langan komponentlar (strongly connected components) arxitektura barqarorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

Papastefanatos va hamkasblarining tadqiqotida ETL ekotizimlarida evolyutsiya ta’sirini bashorat qilish uchun grafik metrikalar qo‘llanilgan [2]. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, out-degree va out-strength ko‘rsatkichlari barcha modul turlari uchun eng ishonchli bashoratchi hisoblanadi. Tranzitiv daraja metrikalari esa ko‘p provayderlarga ega modullar uchun samarali natija bergan [2].

Zimmermann va Nagappan tomonidan olib borilgan keng ko‘lamli empirik tadqiqotda tarmoq metrikalari an’anaviy murakkablik o‘lchovlariga nisbatan nuqsonlarni aniqlashda yuqoriroq aniqlik ko‘rsatgan [7]. Ular Windows Server 2003 operatsion tizimining 3 404 ta binary faylini tahlil qilib, grafik metrikalarning nuqson bashoratidagi samaradorligini isbotlaganlar.

Ogenrwot va hamkasblarining so‘nggi tadqiqotida Maven Central bog‘liqlik tarmog‘i o‘rganilgan [3]. Natijalarga ko‘ra, mazkur tarmoq o‘zaro bog‘liq (connected), masshtabsiz (scale-free) hamda kichik dunyo (small-world) topologiyasiga ega. Markazlashgan tuzilma qayta foydalanishni samarali tashkil etadi, biroq tizimli xavflar yuzaga kelish ehtimolini ham oshiradi [3].

3.3. Vizualizatsiya va Modulizatsiya Yondashuvlari

Katta hajmdagi dasturiy tizimlarda bog‘liqlik tuzilishini tushunish va tahlil qilish uchun vizualizatsiya muhim vosita hisoblanadi. Telea va Auber tomonidan o‘tkazilgan qiyosiy tadqiqotda C/C++ kod bazalarida chaqiriq bog‘liqliklarini (call dependencies) ajratib olish va vizuallashtirish usullari taqqoslangan [4]. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, ierarxik grafikalar va maxsus pipeline yondashuvlari katta tizimlarni samarali vizuallashtirish imkonini beradi.

Sarkar va hamkasblari modulizatsiya sifatini baholash uchun API asosidagi hamda axborot-nazariy metrikalarni taklif etganlar [5]. Ushbu metrikalar bog‘liqlikni kamaytirish strategiyalarini tahlil qilishda va refaktoring qarorlarini asoslashda qo‘llaniladi.

Mao tomonidan ishlab chiqilgan tizim esa dasturiy ta’minot bog‘liqlik tarmog‘ini vizuallashtirish va tahlil qilishga mo‘ljallangan [12]. Mazkur tizim murakkab bog‘liqlik tuzilmalarini interaktiv shaklda ko‘rsatish hamda ularni chuqur tahlil qilish imkonini beradi.

4. Natijalar

Adabiyotlar tahlili asosida quyidagi asosiy xulosalar olindi.

ISSN 3030-3907

4.1. Bog‘liqlik va arxitektura barqarorligi

Bog‘liqlik tuzilmasi tizim barqarorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. DSM asosidagi tahlillar o‘zgarish xarajatlarini bashorat qilishda an’anaviy metrikalarga nisbatan 15–20% yuqori aniqlik beradi [1].

Markazlashgan (scale-free) tuzilma qayta foydalanishni oshiradi, biroq markaziy komponentlardagi nosozlik butun tizimga ta’sir qilishi mumkin [3].

4.2. Texnik qarz

Arxitektura texnik qarzi bog‘liqliklarni kuchaytiradi va markazlashuvni oshiradi. Qarzni to‘lash jarayonida FAN-IN va FAN-OUT ko‘rsatkichlari sezilarli ortadi, bu esa uzoq muddatda tizim murakkabligini oshirishi mumkin [6].

4.3. Nuqson bashorati

Grafik metrikalar (ayniqsa betweenness centrality va PageRank) nuqsonlarni aniqlashda an’anaviy murakkablik metrikalaridan samaraliroq ekanligi isbotlangan [7]. Yuqori markaziylikka ega komponentlar ustuvor nazorat qilinishi zarur.

5. Xulosa

Ushbu tezisda murakkab dasturiy tizimlarda bog‘liqlik tuzilishini tahlil qilish usullari adabiyotlar asosida o‘rganildi va ularning arxitektura barqarorligi, texnik qarz hamda nuqson bashoratiga ta’siri baholandi.

Tahlil natijalari quyidagilarni ko‘rsatdi:

1. **Bog‘liqlik tuzilmasi arxitektura barqarorligining asosiy omilidir.** DSM usuli o‘zgarish xarajatlarini bashorat qilishda an’anaviy metrikalarga nisbatan yuqori aniqlik beradi [1].
2. **DSM va grafik-nazariy metrikalar bir-birini to‘ldiradi.** DSM strukturaviy moslashuvchanlikni baholasa, grafik metrikalar evolyutsiya va nuqson xavfini aniqlashda samaraliroq [2], [7].
3. **Markaziy komponentlar tizimning eng muhim va eng xavfli nuqtalaridir.** Yuqori markaziylikka ega komponentlar qayta foydalanishni oshiradi, biroq nuqsonlarga ko‘proq moyil bo‘ladi [3], [7].
4. **Texnik qarz bog‘liqlik tuzilmasini o‘zgartiradi.** FAN-IN va FAN-OUT ko‘rsatkichlarining ortishi arxitektura markazlashuvini kuchaytiradi va uzoq muddatda murakkablikni oshirishi mumkin [6].

Umuman olganda, DSM, grafik metrikalar va bog‘liqlik monitoringini kombinatsiyalangan holda qo‘llash murakkab dasturiy tizimlarda arxitektura sifatini oshirish va xavflarni kamaytirishning eng samarali strategiyasi hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

ISSN 3030-3907

[1] Lagerström, R., Baldwin, C., MacCormack, A., & Aier, S. (2014). *Visualizing and Measuring Software Portfolio Architecture: A Flexibility Analysis.* In FEA Handbook. https://doi.org/10.3139/9781569904923.007

[2] Νικολαΐδης, A. (2023). *Managing technical debt in modern software applications.* Doctoral dissertation. https://doi.org/10.12681/eadd/57696

[3] Haratian, P., Hejderup, J., & Gousios, G. (2024). *RefExpo: Unveiling Software Project Structures through Advanced Dependency Graph Extraction.* arXiv preprint. https://doi.org/10.48550/arxiv.2407.02620

[4] Çakır, E., Sözer, H., & Aktemur, B. (2024). *Community Detection on Software Library Dependency Graphs using Graph Neural Networks.* In Proceedings of the 9th International Conference on Computer Science and Engineering. https://doi.org/10.1109/ubmk63289.2024.10773551

[5] Kazman, R., Cai, Y., Mo, R., Feng, Q., Xiao, L., Haziyev, S., Fedak, V., & Shapochka, A. (2015). *A case study in locating the architectural roots of technical debt.* In Proceedings of the 37th International Conference on Software Engineering.

[6] Borowa, K., Zalewski, A., & Kijas, S. (2025). *The Technical Debt Gamble: A Case Study on Technical Debt in a Large-Scale Industrial Microservice Architecture.* Technical Report.

[7] Baldwin, C. Y., MacCormack, A., & Rusnak, J. (2014). *Hidden Structure: Using Network Methods to Map Product Architecture.* Harvard Business School Working Paper.

[8] Alzamil, Z. S. (2023). *Software Coupling and Cohesion Model for Measuring the Quality of Software Components.* CMC-Computers, Materials & Continua, 76(3), 3647–3665. https://doi.org/10.32604/cmc.2023.042711

[9] Zhou, Y., Xu, B., & Leung, H. (2020). *Measurement and refactoring for package structure based on complex network.* Applied Network Science, 5(1), 1–28. https://doi.org/10.1007/S41109-020-00298-8

[10] Staron, M., Meding, W., & Söderqvist, B. (2017). *Metrics for software design and architectures.* In Software Development Measurement Programs. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58610-6_7

[11] Perez, B., Castellanos, C., & Correal, D. (2019). *A proposed model-driven approach to manage architectural technical debt life cycle.* In Proceedings of the 2nd International Conference on Technical Debt. https://doi.org/10.1109/TECHDEBT.2019.00025

[12] Matyoqubov Og‘abek Bahrombek o‘g‘li (2025). VEB-ILOVANING XAVFSIZLIK TAHLILI UCHUN MINIMAL GRAFIK MODEL KOMPONENTLARI

TARKIBIDA NIKEL, KOBALT IONI SAQLAGAN BIMETALL FTALOSIANIN KOMPLEKSINING SINTEZI VA MAHSULOTNING INFRAQIZIL SPEKTROSKOPIK TAHLILI

[1]Nazarov N.I., [2]Fayziyev J.B., [3]Nazarov S.I., [4]Mirzoyeva G.A.,

[1]Buxoro davlat tibbiyot instituti akademik litsey
[2]Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy tadqiqot instituti
[3]Buxoro davlat universiteti
[4]Buxoro davlat texnika universiteti akademik litsey

Annotatsiya: Ushbu ilmiy tadqiqot ishida tarkibida nikel va kobalt ionlari saqlagan bimetall ftalosianin kompleksining tuzilishi va koordinatsion bog‘ xususiyatlari infraqizil (IQ) spektroskopik tahlil yordamida o‘rganildi. Spektrda olingan natijalar ftalosianin makrohalqasi shakllanganini hamda markaziy metall ionlari (Ni^{2+} va Co^{2+}) azot atomlari bilan koordinatsiyalanganini ko‘rsatadi. 1600–1500 sm^{-1} oralig‘idagi intensiv cho‘qqilar aromatik C=C va C=N bog‘lariga tegishli bo‘lib, 1332–1290 sm^{-1} diapazondagi signallar C–N bog‘larining tebranishlarini ifodalaydi. 900–700 sm^{-1} sohadagi past chastotali tebranishlar makrotsiklik tuzilmaning deformatsion tebranishlariga mos kelishi aniqlandi. Metall–azot (M–N) bog‘lariga tegishli signallar esa 500–600 sm^{-1} oralig‘ida kuzatilib, bimetall kompleks hosil bo‘lganini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: Bimetall ftalosianin, nikel, kobalt, infraqizil spektroskopiya, IQ spektr, koordinatsion bog‘, makrotsiklik kompleks, metall–azot bog‘i, deformatsion tebranish.

СИНТЕЗ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ФТАЛОЦИАНИНОВОГО КОМПЛЕКСА, СОДЕРЖАЩЕГО ИОНЫ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА, И ИНФРАКРАСНЫЙ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТА

[1]Н.И. Назаров, [2]Ж.Б. Файзиев, [3]С.И. Назаров, [4]Г.А. Мирзоева

[1]Академический лицей при Бухарский государственный медицинский институт
[2]Ташкентский химико-технологический научно-исследовательский институт
[3]Бухарский государственный технический университет
[4]Академический лицей при Бухарский государственный технический университет

Аннотация: В данной научно-исследовательской работе с помощью инфракрасного (ИК) спектроскопического анализа были изучены структура

ISSN 3030-3907

и особенности координационных связей биметаллического фталоцианинового комплекса, содержащего ионы никеля и кобальта. Полученные спектральные результаты показали формирование макроциклического фталоцианинового кольца, а также координацию центральных ионов металлов (Ni^{2+} и Co^{2+}) с атомами азота. Интенсивные полосы в области 1600–1500 $см^{-1}$ относятся к ароматическим связям C=C и C=N, а сигналы в диапазоне 1332–1290 $см^{-1}$ характеризуют валентные колебания связей C–N. Низкочастотные полосы в области 900–700 $см^{-1}$ соответствуют деформационным колебаниям макроциклической структуры. Полосы, относящиеся к связям металл–азот (M–N), наблюдаемые в диапазоне 500–600 $см^{-1}$, подтверждают образование биметаллического комплекса.

Ключевые слова: Биметаллический фталоцианин, никель, кобальт, инфракрасная спектроскопия, ИК-спектр, координационная связь, макроциклический комплекс, связь металл–азот, деформационные колебания.

SYNTHESIS OF A BIMETALLIC PHTHALOCYANINE COMPLEX CONTAINING NICKEL AND COBALT IONS AND INFRARED SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF THE PRODUCT

[1]N.I. Nazarov, [2]J.B. Fayziyev, [3]S.I. Nazarov, [4]G.A. Mirzoyeva

[1]Academic Lyceum of Bukhara State Medical Institute

[2]Tashkent Chemical-Technological Research Institute

[3]Bukhara State Technical University

[4]Academic Lyceum of Bukhara State Technical University

Abstract: In this scientific research, the structure and coordination bond characteristics of a bimetallic phthalocyanine complex containing nickel and cobalt ions were investigated using infrared (IR) spectroscopic analysis. The obtained spectral results confirmed the formation of the phthalocyanine macrocyclic ring and the coordination of the central metal ions (Ni^{2+} and Co^{2+}) with nitrogen atoms. The intense bands observed in the range of 1600–1500 cm^{-1} were assigned to aromatic C=C and C=N bonds, while the signals in the 1332–1290 cm^{-1} region correspond to the stretching vibrations of C–N bonds. The low-frequency bands in the 900–700 cm^{-1} region were attributed to deformation vibrations of the macrocyclic structure. The bands related to metal–nitrogen (M–N) bonds, observed in the 500–600 cm^{-1} range, confirm the formation of the bimetallic complex.

ISSN 3030-3907

Keywords: Bimetallic phthalocyanine, nickel, cobalt, infrared spectroscopy, IR spectrum, coordination bond, macrocyclic complex, metal–nitrogen bond, deformation vibrations.

KIRISH

Hozirgi kunda koordinatsion birikmalar kimyosi jadal rivojlanayotgan ilmiy yo‘nalishlardan biri bo‘lib, ayniqsa makrotsiklik ligandlar asosidagi metallokomplekslar alohida qiziqish uyg‘otmoqda. Shunday birikmalar qatoriga kiruvchi ftalosianinlar o‘zining yuqori termik barqarorligi, kuchli π-elektron kon’yugatsiyalangan tizimi, yorug‘likni yutish xossalari hamda kimyoviy inertligi bilan ajralib turadi. Ushbu xususiyatlari sababli ftalosianin komplekslari kataliz, elektrotexnika, optoelektronika, sensor tizimlari, fotodinamik terapiya, pigment va polimer materiallar yaratishda keng istiqbolga ega hisoblanadi.

Nikel saqlovchi komplekslar yuqori elektrokimyoviy barqarorligi va katalitik faolligi bilan tavsiflansa, kobalt saqlovchi analoglar oksidlanish-qaytarilish jarayonlarida samaradorligi bilan muhim ahamiyatga ega. Shu sababli nikel va kobalt ionlarini bir tizimda mujassamlashtirgan bimetall ftalosianin komplekslarini sintez qilish yangi pigmentlarni yaratishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Ftalosiyanin – makrosiklik tuzulishga ega bo‘lgan organic birikma bo‘lib, 18 ta π elektronga ega va bu strukturada elektonlar almashinish reaksiyalarida asosiy o‘rin tutadi [1]. MePc lok bo‘yoq mahsulotlari bilan birgalikda, elektronika va fotoelektronika mahsulotlari ishlab chiqarishda keng miqyosida qo‘llaniladi [2].

Bimetall ftalotsianinlar tarkibida ikki xil metall ionlari mavjudligi tufayli yaxshi elektron va fizik-kimyoviy xossalarga ega bo‘lib, murakkab sharoitlarda ham faol ishlash qobiliyatiga ega bo‘ladi [3]. Mis ftalosianin va nikel ftalosianinlar sintez qilinib, olingan moddalarning IQ spektri tahlil qilinganda ftalosianin molekulasini hoqil qilgan atomlar orasidagi bog‘larda 3047 –CH (arom), 1609 –C=C–, 1504 –N=, 1408, 1329 –C=C–N–, nikel ftalosianinda 3059 –CH (arom), 1620 –C=C–, 1488 –N=, 1380, 1301 –C=C–N– quyidagicha yutilish sohalari kuzatiladi[4]. Infraqizil (IQ) spektroskopik usul yordamida ushbu birikmalarning molekulyar tuzilishini, markaziy metall ionlari bilan bog‘lanish xususiyatlari va molekula tarkibidagi atomlar orasidagi tebranishlar aniqlanadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, metall-ion tabiatining o‘zgarishi IQ-spektrning muayyan sohalarida, ayniqsa 1300–1500 sm^{-1} oralig‘idagi tebranishlar asosan C–N, C=C, va C=N

ISSN 3030-3907

bog‘lar, shuningdek izoindol va pirrol halqalarining deformatsion tebranishlariga to‘g‘ri keladi. Ayniqsa ftalosianinlar strukturasida yutulish sohalari aromatik halqa va metallga yaqin joylashgan ligandlarning tebranishlariga sezgir bo‘ladi[5-6]. Mis –kobalt ionlari saqlagan bimetall ftalosianin kompleksini IQ spektri tahlil qilinganda atomlar orasidagi bog‘larda 3045 cm^{-1}–CH (arom), 1681–1614 cm^{-1} C=N, C=C, 1332–1288 cm^{-1} – C–N, 754–690 cm^{-1} M–N, 1462–1398 cm^{-1} C–C yutilish sohalar kuzatildi, olingan natijalar bimetall saqlagan ftalosianin kompleksini tasdiqlaydi[7].

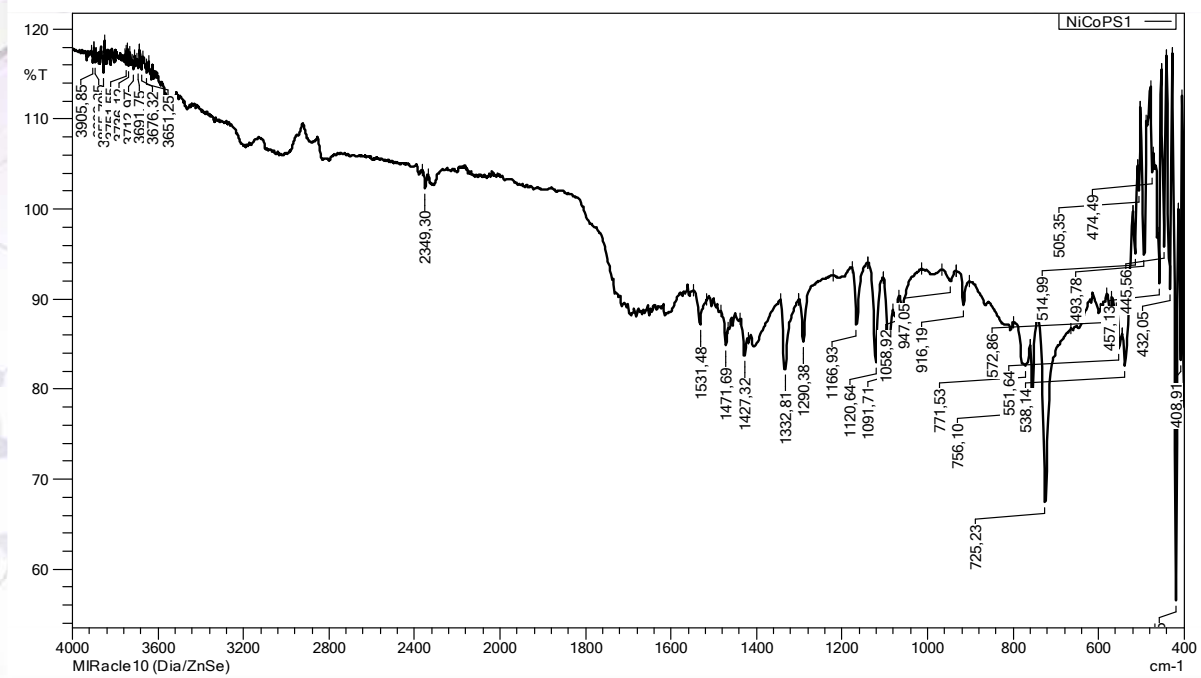
TADQIQOT METODOLOGIYASI

Ftalandgidrid, mochevina, $CoCl_2 \cdot 6H_2O$, $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ 4 : 8:1:1 nisbatdao‘lchab olindi. Olingan boshlang‘ich moddalar massasiga nisbatan 0,01% miqdorda gibrid katalizator qo‘shildi va bir xil massaga kelguncha chinni havonchaga solib yaxshilab aralashtirildi. Hosil bo‘lgan aralashma chinni tegelga solib qopqogini yopgan holda mufel pechida 180 ^{0}C da 30minut davomida, 240 ^{0}C da esa 2 soat davomida qizdirildi. Hosil bo‘lgan reaksiya mahsuloti xona harpratigacha sovitildi. So‘ngra sokslet aparatida etanol bilan 6 soat davomida ekstraksiya qilindi va 100^{0}C da quritish shkafida quritildi. Natijada 84% unum bilan to‘q ko‘k-yashil rangli modda olindi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR

Sintez qilingan nikel va kobalt ionlarini saqlagan bimetall ftalosianin kompleksining tuzilishini aniqlash va makrotsiklik ligand hosil bo‘lganligini o‘rganish maqsadida IQ spektr tahlili amalga oshirildi. Spektr 4000–400 sm^{-1} oraliqda qayd etildi va unda ftalosianin makrotsiklik tizimiga xos bo‘lgan bir qator xarakterli yutilish cho‘qqilari kuzatildi.

ISSN 3030-3907



1-rasm.Nikel-kobalt saqlovchi ftalotsianining IQ spektri

Spektrdagi yuqori chastota sohasida, ya'ni 3900–3600 sm^{-1} oralig'ida nisbatan keng yutilish chiziqlar kuzatildi. Ushbu signallar odatda namuna yuzasida adsorbsiyalangan suv molekulalari yoki gidroksil guruhlarining valent tebranishlariga mos keladi. Ftalosianin makrotsiklining hosil bo'lganligini tasdiqlovchi asosiy tebranishlar 1600–1400 sm^{-1} oraliqda joylashgan. Tadqiq qilinayotgan ftalosianin kompleks spektridagi 1531 sm^{-1}, 1471 sm^{-1} va 1422 sm^{-1} kuztilgan yutilish sohalari aromatik tizimdagi C=C va C=N bog'larining valent tebranishlariga mos keladi. Ushbu tebranishlar ftalosianin makrotsiklining konjugirlangan π-elektron tizimi shakllanganligini ko'rsatadi. 1332 sm^{-1} va 1290 sm^{-1} sohadagi qayd etilgan yutilish cho'qqilari izoindol fragmentlari tarkibidagi C–N bog'larining valent tebranishlari bilan bog'liq. Bu yutilish sohalar ftalosianin yadrosining ichki tuzilishiga xos bo'lib, makrotsiklik azot atomlari tizimi shakllanganligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, bu tebranishlar metall ionlarining ligand bilan koordinatsiyalanish jarayonida elektron zichlikning qayta taqsimlanishi sodir bo'lganligini ham dalolat beradi. 1200–1000 sm^{-1} oralig'ida kuzatilgan yutilish cho'qqilari aromatik halqa ichidagi C–N, C–C va C=N bog'larining ichki deformatsion tebranishlari bilan izohlanadi. Ushbu yutilish sohalari ftalosianin makrotsikli uchun juda xarakterli bo'lib, kuchli konjugirlangan π-elektron tizim mavjudligini ko'rsatadi. Ayniqsa, bu signallar ligandning planar makrotsiklik tuzilishga ega ekanligini tasdiqlaydi. 900–700 sm^{-1} oralig'ida kuzatilgan yutilish cho'qqilari aromatik halqalardagi C–H bog'larining tekislikdan tashqaridagi deformatsion tebranishlari bilan bog'liq. Bu esa ftalosianin molekulasida benzol halqa tipidagi aromatik fragmentlar mavjudligini tasdiqlaydi. Past chastota 600–400 sm^{-1} sohasida kuzatilgan

ISSN 3030-3907

tebranishlar metall–azot (M–N) koordinatsion bog‘larining tebranishlariga xos bo‘lib, ftalosianin makrotsikli markazida metall ionlari joylashib kompleks birikma hosil bo‘lganligini ko‘rsatadi. Ushbu kompleksda qayd etilgan signallar Ni–N va Co–N koordinatsion bog‘lari hosil bo‘lganligini tasdiqlaydi. Chastotasi past bo‘lgan sohadagi bu tebranishlarning mavjudligi bimetall kompleks hosil bo‘lganligini tasdiqlaydi. 2850–2960 sm^{-1} oraliqda alifatik C–H bog‘lariga xos intensiv signallarning deyarli kuzatilmasligi olingan moddaning asosan aromatik makrotsiklik tizimdan iborat ekanligidan dalolat beradi. Bu olingan natijalar ftalosianin molekulasining strukturaviy xususiyatlari bilan mos keladi. Bundan tashqari, spektrdagi ko‘plab aromatik tebranishlar va past chastota sohasidagi metall–ligand signallarining mavjudligi ftalosianin makrotsikli to‘liq shakllanganligini hamda markaziy koordinatsion bo‘shliqda ikki xil metall ionining joylashganligini ko‘rsatadi.

Xulosa

Ushbu ilmiy tadqiqot ishda ftalandgidrid, mochevina hamda Co(II) va Ni(II) xlorid tuzlari asosida bimetall ftalosianin sintez qilindi. Olingan moddaning IQ spektr tahlil natijalari tarkibida nikel va kobalt ionlarini o‘z ichiga olgan bimetall ftalosianin kompleksi hosil bo‘lganligini ko‘rsatadi. Spektrda aromatik bog‘larining C=C va C=N xarakterli tebranishlari ftalosianin makrotsiklining hosil bo‘lganligini tasdiqlaydi. Chastotasi past sohasida aniqlangan yutilish sohalar molekula tarkibidagi metall–azot tebranishlariga xos bo‘lib, nikel va kobalt ionlarining tetra-izoindol ligandi bilan koordinatsion bog‘ hosil bo‘lganligidan dalolat beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1.Sesalan, B.Ş., A. Koca, and A. Göl, Water soluble novel phthalocyanines containing dodeca-amino groups. Dyes and Pigments, 2008. 79(3): p. 259-264.
2. Sakamoto, K. and E. Ohno-Okumura, Syntheses and Functional Properties of Phthalocyanines. Materials, 2009. 2(3): p. 1127-1179.
3.Author(s) Unknown. Synthesis of water-soluble copper(II), manganese(III) phthalocyanines and their photocatalytic properties. *J. Mol. Struct.* 2022. https://doi.org/[Insert DOI if known]
4. Алексанян К. Г. и др. Синтез фталоцианинов переходных металлов и их применение в качестве присадок к смазочным материалам //НефтеГазоХимия. – 2018. – №. 3. – С. 44-48.
5. Saka, E. T., Gül, A., & Bekaroğlu, Ö. (2016). Synthesis and characterization of bimetallic phthalocyanines: Optical and electrochemical properties. Journal of Organometallic Chemistry, 818, 65–72.

ISSN 3030-3907

6. Kulik, L. V., Kuregyan, A. G., & Khimich, T. G. (2007). Correlation dependences in infrared spectra of metal phthalocyanines. Russian Journal of General Chemistry, 77(2), 204–208.
7. Н.И.Назаров, Ж.Б.Файзиев, Г.А.Мирзоева, А.А,Холов. Синтез и физико-химический анализ α-модифицированного сэндвич-подобного бис-металлического фталоцианина на основе ионов Cu^{2+} и Co^{2+} // Universum: технические науки: электрон. научн.журн.2025.10(139).–С.67-71. https://7universum.com/ru/tech/archive/item/21066

KICHIK BIZNESNI RIVOJLANTIRISHNING ZAMONAVIY TENDENSIYALARI VA MUAMMOLARI.

Turginova Mavludaxon Maxammadjanovna.
Andijon Davlat texnika instituti "Iqtisodiyot" kafedrasi katta o‘qituvchi.
E-mail: turginovamavludaxon@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada kichik biznes va xususiy tadbirkorlikni rivojlantirishning zamonaviy tendensiyalari hamda mavjud muammolari tahlil qilingan. Global iqtisodiy transformatsiya, raqamli texnologiyalar, institutsional muhit va moliyaviy resurslarga kirish imkoniyatlari kichik biznes rivojlanishiga ta’sir etuvchi asosiy omillar sifatida ko‘rib chiqilgan. Tadqiqotda raqamli iqtisodiyot sharoitida kichik korxonalarning moslashuvchanligi, innovatsion faoliyati va raqobatbardoshligi yoritilgan. Shuningdek, startap ekotizimlar, barqaror rivojlanish va global integratsiya jarayonlarining ta’siri tahlil qilingan. Natijalar kichik biznesni qo‘llab-quvvatlashda kompleks yondashuv muhimligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: kichik biznes, tadbirkorlik, raqamli iqtisodiyot, innovatsiya, startap, investitsiya, globalizatsiya, raqobatbardoshlik, barqaror rivojlanish, moliyaviy resurslar.

Аннотация. В данной статье анализируются современные тенденции развития малого бизнеса и частного предпринимательства, а также существующие проблемы. Рассматриваются ключевые факторы, такие как глобальная экономическая трансформация, цифровые технологии, институциональная среда и доступ к финансовым ресурсам. Особое внимание уделяется адаптивности малых предприятий в условиях цифровой экономики, их инновационной активности и конкурентоспособности. Также анализируются влияние стартап-экосистем, устойчивого развития и процессов глобальной интеграции. Результаты исследования показывают важность комплексного подхода к поддержке малого бизнеса и необходимости институциональных реформ.

Ключевые слова: малый бизнес, предпринимательство, цифровая экономика, инновации, стартап, инвестиции, глобализация, конкурентоспособность, устойчивое развитие, финансовые ресурсы.

Abstract. This article analyzes the modern trends and existing challenges in the development of small business and private entrepreneurship. Key factors such as global economic transformation, digital technologies, institutional environment, and access to financial resources are examined as major determinants of small business growth. The study highlights the adaptability, innovation activity, and competitiveness of small enterprises in the context of the digital economy. In addition, the impact of startup ecosystems, sustainable development, and global integration processes is analyzed. The results indicate that a comprehensive approach, including digital transformation and institutional support, is essential for the sustainable development of small businesses.

Keywords: small business, entrepreneurship, digital economy, innovation, startup, investment, globalization, competitiveness, sustainable development, financial resources.

Kirish. Kichik biznes va xususiy tadbirkorlik bugungi kunda jahon iqtisodiyotining eng muhim va tez rivojlanayotgan sektorlaridan biri sifatida e’tirof etilmoqda. Global iqtisodiy transformatsiya, raqamli texnologiyalarning tez sur’atlarda rivojlanishi, mehnat bozoridagi o‘zgarishlar hamda iste’molchilarning xatti-harakatlaridagi yangilanishlar kichik biznes faoliyatining shakli va mazmuniga sezilarli ta’sir ko‘rsatmoqda. Ayniqsa, so‘nggi yillarda kichik biznes nafaqat iqtisodiy o‘sishni ta’minlovchi asosiy omil, balki innovatsiyalarni joriy etish, yangi ish o‘rinlarini yaratish va ijtimoiy barqarorlikni mustahkamlashda ham muhim rol o‘ynamoqda. Zamonaviy iqtisodiy sharoitda kichik biznesning rivojlanishi ko‘plab imkoniyatlar bilan bir qatorda murakkab muammolarni ham yuzaga keltirmoqda. Raqamli iqtisodiyotga o‘tish jarayoni kichik tadbirkorlik subyektlaridan yangi kompetensiyalarni, texnologik moslashuvchanlikni hamda innovatsion fikrlashni talab qilmoqda. Elektron tijorat, onlayn platformalar, sun’iy intellekt va avtomatlashtirish tizimlarining keng joriy etilishi kichik biznes uchun yangi bozorlarni ochib berayotgan bo‘lsa-da, shu bilan birga raqobatni keskin kuchaytirmoqda. Natijada, resurslari cheklangan kichik korxonalar yirik kompaniyalar bilan raqobatda o‘z o‘rnini saqlab qolish uchun doimiy ravishda moslashishga majbur bo‘lmoqda. Shuningdek, globalizatsiya jarayoni kichik biznes subyektlariga xalqaro bozorga chiqish imkoniyatlarini kengaytirgan bo‘lsa-da, bu jarayon bilan bog‘liq standartlar, logistika, sifat talablari va moliyaviy barqarorlik kabi omillar yangi muammolarni yuzaga keltirmoqda. Ko‘plab tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, kichik biznesning muvaffaqiyati ko‘p jihatdan davlat siyosati, kreditlash tizimi, soliq

ISSN 3030-3907

yengilliklari va institutsional qo‘llab-quvvatlash darajasiga bog‘liq. Shu nuqtayi nazardan, turli mamlakatlarda kichik biznesni rivojlantirish bo‘yicha amalga oshirilayotgan islohotlar va strategiyalar alohida ahamiyat kasb etadi [1].

Bugungi kunda kichik biznesning rivojlanish tendensiyalaridan biri sifatida raqamli transformatsiya jarayoni alohida ajralib turadi. Onlayn savdo platformalari, mobil ilovalar va ijtimoiy tarmoqlar orqali marketing yuritish kichik tadbirkorlik subyektlari uchun nisbatan kam xarajat bilan keng auditoriyaga chiqish imkonini bermoqda. Biroq, raqamli savodxonlikning yetarli darajada emasligi, kiberxavfsizlik muammolari va texnologik infratuzilmaning notekis rivojlanishi ushbu jarayonning samaradorligini cheklab qo‘ymoqda. Bundan tashqari, kichik biznesning barqaror rivojlanishida inson kapitali ham muhim omil hisoblanadi. Malakali kadrlar yetishmasligi, boshqaruv tajribasining cheklanganligi va innovatsion yondashuvlarning sust joriy etilishi ko‘plab kichik korxonalar uchun asosiy to‘siqlardan biri bo‘lib qolmoqda. Shu bilan birga, zamonaviy biznes muhitida moslashuvchan boshqaruv tizimlari va startap madaniyatining rivojlanishi kichik biznesning raqobatbardoshligini oshirishda muhim rol o‘ynamoqda [2].

Yana bir muhim jihat shundaki, kichik biznesning moliyaviy resurslarga kirish imkoniyati hali ham dolzarb muammo bo‘lib qolmoqda. Kredit olish shartlarining murakkabligi, garov ta’minoti talablarining yuqoriligi va moliyaviy institutlar bilan hamkorlikdagi cheklovlar kichik tadbirkorlikning kengayishiga to‘sqinlik qilmoqda. Shu sababli, ko‘plab mamlakatlarda mikro-moliyalashtirish tizimlari, venchur kapital va davlat grantlari orqali kichik biznesni qo‘llab-quvvatlash mexanizmlari rivojlantirilmoqda. Umuman olganda, kichik biznesni rivojlantirishning zamonaviy tendensiyalari innovatsion texnologiyalar, raqamli iqtisodiyot, global integratsiya va institutsional islohotlar bilan chambarchas bog‘liqdir. Shu bilan birga, ushbu jarayonlar bilan bir qatorda yuzaga kelayotgan muammolarni tizimli o‘rganish va ularni bartaraf etish yo‘llarini ishlab chiqish dolzarb ilmiy-amaliy vazifalardan biri hisoblanadi. Maqolada kichik biznes rivojlanishining zamonaviy yo‘nalishlari hamda mavjud muammolar kompleks tahlil qilinadi [3].

Adabiyotlar tahlili. Kichik biznesni rivojlantirish muammolari va uning zamonaviy tendensiyalari so‘nggi yillarda iqtisodiy fanlarda keng o‘rganilayotgan dolzarb yo‘nalishlardan biridir. Zamonaviy ilmiy manbalarda kichik biznes iqtisodiy o‘sishning muhim drayveri, innovatsiyalar manbai hamda mehnat bandligini ta’minlovchi asosiy sektor sifatida talqin qilinadi. Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, kichik biznesning rivojlanishiga ta’sir etuvchi omillarni bir necha yirik guruhlarga ajratish mumkin: institutsional omillar, moliyaviy omillar, texnologik omillar, inson kapitali va bozor sharoitlari. Ko‘plab

ISSN 3030-3907

zamonaviy tadqiqotlarda kichik biznesning barqaror rivojlanishi uchun raqamli transformatsiya hal qiluvchi rol o‘ynashi ta’kidlanadi. Xususan, raqamli texnologiyalar kichik korxonalarga global bozorga chiqish, operatsion xarajatlarni kamaytirish va mijozlar bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri aloqani yo‘lga qo‘yish imkonini bermoqda. Biroq adabiyotlarda raqamli transformatsiyaning hamma korxonalar uchun bir xil darajada samarali emasligi qayd etiladi. Bu holat raqamli infratuzilmaning notekisligi va raqamli savodxonlik darajasining pastligi bilan izohlanadi [4].

Moliyaviy resurslarga kirish masalasi kichik biznesni o‘rganishda eng ko‘p tilga olinadigan muammolardan biridir. Ilmiy manbalarda kichik biznes subyektlarining kredit olish imkoniyatlari cheklanganligi, garov ta’minoti yetishmasligi va bank tizimlarining konservativ siyosati asosiy to‘siqlar sifatida ko‘rsatiladi. Shu bilan birga, venchur kapital va kraudfanding kabi muqobil moliyalashtirish manbalarining rivojlanishi kichik biznes uchun yangi imkoniyatlar yaratmoqda. Quyidagi jadvalda kichik biznes rivojlanishiga ta’sir etuvchi asosiy omillar va ularning zamonaviy ilmiy adabiyotlarda talqin qilinishi umumlashtirilgan:

Omil guruhi	Asosiy mazmuni	Adabiyotlarda qayd etilgan muammo va imkoniyatlar
Institutsional muhit	Soliq tizimi, qonunchilik, davlat qo‘llab-quvvatlashi	Byurokratiya, huquqiy barqarorlik yetishmasligi
Moliyaviy tizim	Kredit, investitsiya, moliyaviy xizmatlar	Kreditga kirish cheklangan, garov talablari yuqori
Texnologik rivojlanish	Raqamli platformalar, avtomatlashtirish, AI	Raqamli savodxonlik past, infratuzilma nomutanosib
Inson kapitali	Malaka, boshqaruv tajribasi, innovatsion fikrlash	Kadrlar yetishmasligi, ta’lim tizimi bilan nomuvofiqlik
Bozor sharoitlari	Raqobat, talab, global integratsiya	Kichik korxonalar raqobatda zaif, eksport imkoniyati cheklangan

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, kichik biznes rivojlanishi ko‘p omilli jarayon bo‘lib, har bir yo‘nalish o‘zaro bog‘liq holda ishlaydi. Masalan, moliyaviy resurslarga kirish imkoniyati texnologik rivojlanish bilan chambarchas bog‘liq, chunki raqamli platformalar orqali yangi moliyaviy instrumentlar paydo bo‘lmoqda. Shu bilan birga, inson kapitalining past darajasi texnologik innovatsiyalarni joriy etish jarayonini sekinlashtiradi [5].

ISSN 3030-3907

So‘nggi yillarda adabiyotlarda kichik biznesni rivojlantirishda startap ekotizimlarining ahamiyati ortib borayotgani qayd etilmoqda. Startaplar innovatsion g‘oyalarni tez sinovdan o‘tkazish, bozorga moslashuvchan kirish va investitsiya jalb qilish imkoniyati bilan ajralib turadi. Biroq ko‘plab tadqiqotlarda startaplarning yuqori darajadagi riskka ega ekanligi, ularning aksariyati dastlabki bosqichlarda muvaffaqiyatsizlikka uchrashi ham ta’kidlanadi. Adabiyotlar tahlili shuni ham ko‘rsatadiki, kichik biznesning rivojlanishida hududiy farqlar muhim rol o‘ynaydi. Rivojlangan hududlarda infratuzilma, investitsiya muhiti va raqamli texnologiyalar darajasi yuqori bo‘lgani uchun kichik biznes tezroq rivojlanadi. Rivojlanayotgan hududlarda esa asosiy to‘siqlar sifatida kapital yetishmasligi, bozor cheklanganligi va institutsional zaiflik ko‘rsatiladi. Bundan tashqari, global iqtisodiy integratsiya kichik biznes uchun ham imkoniyat, ham xavf tug‘diradi. Bir tomondan, eksport bozorlariga chiqish imkoniyati kengayadi, ikkinchi tomondan esa xalqaro raqobat kuchayadi. Ilmiy manbalarda kichik biznesning xalqaro bozorda muvaffaqiyat qozonishi uchun innovatsion yondashuv, sifat standartlariga rioya qilish va logistika tizimining samaradorligi muhim ekani ta’kidlanadi [6].

So‘nggi tadqiqotlarda barqaror rivojlanish konsepsiyasi ham kichik biznesga tatbiq etilmoqda. Bu yondashuv iqtisodiy foyda bilan bir qatorda ekologik va ijtimoiy mas’uliyatni ham hisobga olishni talab qiladi. Kichik korxonalar uchun yashil texnologiyalarni joriy etish, energiya samaradorligini oshirish va ekologik standartlarga rioya qilish raqobat ustunligiga aylanishi mumkin. Adabiyotlarda yana bir muhim yo‘nalish sifatida raqamli marketing va elektron tijoratning kichik biznesga ta’siri tahlil qilinadi. Ijtimoiy tarmoqlar, onlayn platformalar va raqamli reklama vositalari kichik korxonalarga minimal xarajat bilan keng mijozlar bazasiga chiqish imkonini bermoqda. Shu bilan birga, raqamli bozorda axborot oqimining haddan tashqari ko‘pligi va raqobatning kuchayishi marketing strategiyalarini murakkablashtirmoqda. Adabiyotlar tahlili kichik biznes rivojlanishi ko‘p qirrali va murakkab jarayon ekanligini ko‘rsatadi. Institutsional, moliyaviy, texnologik va insoniy omillar o‘zaro bog‘liq holda kichik biznesning barqarorligini belgilaydi. Zamonaviy ilmiy yondashuvlar kichik biznesni nafaqat iqtisodiy birlik sifatida, balki innovatsion va ijtimoiy tizimning muhim elementi sifatida ko‘rib chiqmoqda [7].

Tadqiqot muhokamasi. Kichik biznesni rivojlantirish masalasi zamonaviy iqtisodiy tizimlarning barqarorligi va raqobatbardoshligini ta’minlashda muhim o‘rin tutadi. O‘tkazilgan adabiyotlar tahlili hamda mavjud ilmiy yondashuvlar asosida shuni ta’kidlash mumkinki, kichik biznes rivojlanishi bir tomondan tashqi iqtisodiy muhitga, ikkinchi tomondan esa ichki boshqaruv va resurs salohiyatiga bevosita bog‘liqdir. Ushbu bo‘limda kichik biznesning

ISSN 3030-3907

zamonaviy tendensiyalari va muammolari tahlil qilinib, ularning o‘zaro bog‘liqligi muhokama qilinadi. Eng avvalo, kichik biznesning raqamli transformatsiya jarayoniga moslashuvi uning raqobatbardoshligini belgilovchi asosiy omillardan biri sifatida namoyon bo‘lmoqda. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, raqamli texnologiyalarni faol joriy etgan korxonalar bozordagi o‘z ulushini tezroq kengaytiradi, mijozlar bilan samarali aloqa o‘rnatadi va operatsion xarajatlarni sezilarli darajada kamaytiradi. Biroq bu jarayon barcha korxonalar uchun bir xil darajada kechmayapti. Ayniqsa, kichik biznes subyektlarining texnik infratuzilma va raqamli ko‘nikmalar yetishmasligi ularga ushbu imkoniyatlardan to‘liq foydalanishga to‘sqinlik qilmoqda [8].

Muhokama jarayonida aniqlangan yana bir muhim jihat – moliyaviy cheklovlar kichik biznes rivojlanishining asosiy to‘siqlaridan biri ekanligidir. Ko‘plab tadqiqotlarda kredit olish jarayonining murakkabligi, foiz stavkalarining yuqoriligi va bank talablarining qat’iyligi kichik korxonalar uchun jiddiy muammo sifatida qayd etiladi. Natijada, ko‘plab tadbirkorlar o‘z biznesini kengaytirish yoki innovatsion loyihalarni amalga oshirish imkoniyatidan mahrum bo‘ladi. Shu bilan birga, muqobil moliyalashtirish manbalarining rivojlanishi ushbu muammoni qisman yumshatmoqda, biroq ularning ham hali to‘liq shakllanmaganligi seziladi. Tadqiqot davomida inson kapitalining roli ham alohida muhokama qilindi. Kichik biznesning muvaffaqiyati ko‘p jihatdan tadbirkorning boshqaruv qobiliyati, innovatsion fikrlashi va bozor sharoitlariga tez moslashishiga bog‘liq. Ammo amaliyot shuni ko‘rsatadiki, ko‘plab kichik korxonalarda professional boshqaruv tizimi yetarli darajada rivojlanmagan. Bu esa strategik qarorlar qabul qilishda xatolarga, resurslardan samarasiz foydalanishga va natijada biznesning barqarorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Muhokama jarayonida institutsional muhit ham muhim omil sifatida baholandi. Soliq siyosati, litsenziyalash tartiblari va davlat tomonidan qo‘llab-quvvatlash darajasi kichik biznesning rivojlanish sur’atlariga bevosita ta’sir qiladi. Ayrim hollarda byurokratik to‘siqlar va huquqiy noaniqliklar tadbirkorlik faolligini cheklab qo‘yadi. Shu sababli, ko‘plab mamlakatlarda kichik biznesni qo‘llab-quvvatlashga qaratilgan islohotlar amalga oshirilmoqda, biroq ularning samaradorligi hududiy va sektorlar kesimida turlicha namoyon bo‘lmoqda [9].

Tadqiqot natijalari kichik biznesning global bozorga integratsiyalashuvi jarayoni ham muhim ahamiyat kasb etishini ko‘rsatdi. Xalqaro bozorga chiqish kichik korxonalar uchun yangi imkoniyatlar yaratadi, biroq bu jarayon yuqori raqobat, standartlarga moslashish zaruriyati va logistika muammolari bilan birga keladi. Ayniqsa, eksport faoliyatini boshlash uchun zarur bo‘lgan bilim va tajriba yetishmasligi ko‘plab kichik korxonalar uchun to‘siq bo‘lib qolmoqda. Tadqiqot davomida barqaror rivojlanish yondashuvi ham muhokama qilindi. Zamonaviy

ISSN 3030-3907

iqtisodiy sharoitda kichik biznes nafaqat iqtisodiy foyda olish, balki ekologik va ijtimoiy mas'uliyatni ham inobatga olishi kerak. Bu esa yangi texnologiyalarni joriy etish, energiya samaradorligini oshirish va ekologik standartlarga rioya qilishni talab etadi. Biroq ko'plab kichik korxonalar uchun ushbu talablar qo'shimcha xarajatlarni keltirib chiqaradi va qisqa muddatda ularning moliyaviy holatiga bosim o'tkazadi. Umuman olganda, tadqiqot muhokamasi shuni ko'rsatadiki, kichik biznesni rivojlantirish ko'p omilli va murakkab jarayon bo'lib, u doimiy ravishda o'zgarib borayotgan iqtisodiy muhitga moslashishni talab qiladi. Raqamli texnologiyalar, moliyaviy resurslar, inson kapitali va institutsional qo'llab-quvvatlash o'zaro uyg'unlikda ishlagan taqdirdagina kichik biznes barqaror rivojlanishi mumkin. Shu sababli, kelgusida kichik biznesni qo'llab-quvvatlash siyosati kompleks yondashuv asosida ishlab chiqilishi lozim [10].

Xulosa. Kichik biznesni rivojlantirish zamonaviy iqtisodiyotning eng muhim yo'nalishlaridan biri bo'lib, u iqtisodiy o'sish, bandlikni ta'minlash va innovatsion jarayonlarni jadallashtirishda asosiy rol o'ynaydi. O'tkazilgan tahlil va muhokamalar natijasida kichik biznesning rivojlanishi bir necha asosiy omillar — raqamli transformatsiya, moliyaviy imkoniyatlar, inson kapitali va institutsional muhit bilan chambarchas bog'liq ekanligi aniqlandi. Shu bilan birga, raqamli savodxonlikning yetishmasligi, moliyaviy resurslarga kirish cheklovlari va raqobatning kuchayishi kichik biznes uchun asosiy muammolar bo'lib qolmoqda.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, kichik biznesni barqaror rivojlantirish uchun kompleks yondashuv, ya'ni davlat qo'llab-quvvatlashi, innovatsion texnologiyalarni joriy etish va tadbirkorlik kompetensiyalarini oshirish zarur. Shuningdek, raqamli iqtisodiyot sharoitida kichik biznesning moslashuvchanligi uning kelajakdagi muvaffaqiyatini belgilovchi asosiy omil bo'lib qoladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. OECD. (2023). SME and Entrepreneurship Outlook: Policy responses for a digital and green transition. OECD Publishing.
2. World Bank. (2022). Small and Medium Enterprises: Engine of Global Growth. Washington, DC: World Bank Group.
3. European Commission. (2024). Digital Transformation of SMEs in the Global Economy. Brussels: Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs.
4. Audretsch, D. B., & Belitski, M. (2023). Entrepreneurship in the digital age: Evidence and policy implications. Journal of Business Research, 158, 113–126.

ISSN 3030-3907

5. Sharma, P., & Kumar, A. (2022). Financial constraints and SME growth: A global perspective. Small Business Economics, 59(4), 1453–1470.
6. Global Entrepreneurship Monitor. (2023). Global Entrepreneurship Report 2023/2024. GEM Consortium.
7. United Nations Development Programme. (2022). Sustainable development and SMEs: Green transition pathways. UNDP Publications.
8. Kovačić, Z., & Novak, M. (2024). Digital capabilities and SME competitiveness in emerging markets. Technological Forecasting and Social Change, 198, 122–135.
9. Asian Development Bank. (2023). Financing SMEs for inclusive growth in developing economies. ADB Report.
10. World Economic Forum. (2024). Future of Small Business: Innovation, resilience and digital ecosystems. Geneva: WEF Publishing.

UDC 655.71

High-performance nozzle absorber for drying natural gases with high moisture content

JUMAYEV Q.K., ZARIPOV G‘.B., HABIBULLAYEV G. G.
Bukhara State Technical University

Abstract

The article covers the data on the design and principle of operation of the absorber with cyclonic spray, which is highly effective in drying natural gases in older gas wells with lower formation pressure and correspondingly higher moisture content.

Keywords: absorber, desorber, natural gas, glycol solution, diethylene glycol, triethylene glycol, gas drying, gas, cyclone absorber.

INTRODUCTION

Produced natural gas is saturated with water vapor. The amount of water vapor depends on the pressure and temperature of layer and its chemical composition.

During the operation of the well, the formation pressure gradually decreases and the water content of natural gas increases accordingly.

Therefore, the decrease in formation pressure and the increase in moisture content of extracted natural gas are the factors affecting the change of technological parameters of drying devices with the help of glycols.

Formation pressure affects not only the working pressure, but also the moisture content of produced gas. As the formation pressure decreases, the equilibrium moisture content in the gas composition increases. As a result, the amount of moisture extracted in the absorber increases accordingly.

The linear speed of the gas in the device increases with the decrease in pressure while maintaining the volume of the produced gas, as a result, it has a negative effect on the operation of drying devices with glycols. In particular, droplet

ISSN 3030-3907

removal of liquid in separators is accelerated. It is known that the liquid contains mineral salts and mechanical additives. These substances are absorbed by the glycol solution and increase in quantity, as a result of which the properties of the glycol are reduced. Moreover, as the speed of natural gas passing through the absorber increases, the amount of absorbent carried in the gas transmitted to the main pipeline increases. It has been proven by experiments that the value of droplet removal is inversely proportional to the working pressure in the device. Currently, this problem is solved by increasing the efficiency of the filtering section of the absorber.

The pressure is the main factor that determines the metal costs of the absorber, the relative cost of the absorbent, and the energy costs of circulation pumps.

LITERATURE REVIEW AND METHODOLOGY

The absorber is a multi-functional device, consisting mainly of three parts: separation, mass exchange and filtering parts. The separation part is designed to separate water in the form of drops in natural gas. Water in the form of steam in natural gas is absorbed and separated into glycol in the exchange part. In the filtering part, the droplet-shaped absorbent remaining in the dry gas is separated [1].

Nozzle columns have a number of advantages: the structure is simple and it is possible to work with liquids that cause erosion of the inner surface of the equipment. Such equipment can be used when the value of the diffusion resistance in the transfer of matter is large in the liquid or gas phase. Such equipment is not without its shortcomings. Contaminated or turbid liquids cannot be used in nozzle columns. In such columns, it is difficult to remove the heat released during the absorption of gases, besides, the nozzles are poorly moist when the amount of splashing of liquids is small. The method of recirculating absorbents through a pump (that is, returning a certain part of the absorbent to the column) is used to reduce the heat generated in this equipment and to moist the nozzles well.

For the nozzles to work effectively, the following requirements must be met: 1) the nozzles have a large surface per volume unit; 2) good mixing with dispersing liquid; 3) low hydraulic resistance to gas flow; 4) uniform distribution of dispersible liquid; 5) to be chemically resistant to the effects of liquids and gases moving in the column; 6) low specific gravity; 7) mechanically strong; 8) it should be cheap. But in practice, there are no nozzles that meet such requirements, for example, a large surface area leads to an increase in the hydraulic resistance of the equipment.

RESULTS AND DISCUSSION

Vertical columns filled with solid bodies of various shapes and sizes, that is, nozzles, are widely used in industry due to their simple structure and high

ISSN 3030-3907

efficiency. In nozzle columns (Fig. 1), the nozzles are installed on the support bars 5 through which gas and liquid pass. The internal cavity of the equipment is filled with nozzles 2 or placed in layers with a height of 1.5-3 m each. Gas is supplied to the bottom of the grid through the gas distributor 6, and then passes through the nozzle layer.

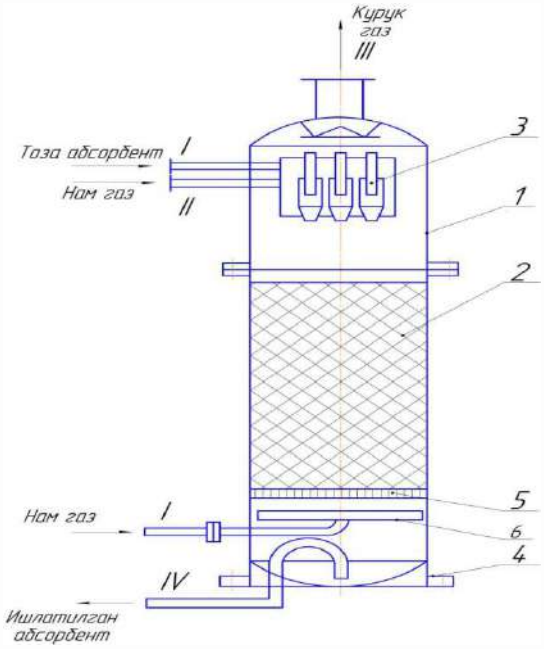


Fig. 1. Nozzle absorption column:
1- absorber shell; 2- nozzle layer; 3- battery cyclone sprayer; 4- absorber base; 5- base grid; 6- gas distributor.
I- moist gas; II- pure absorbent; III- dry gas; IV- used absorbent.

Absorbent mixed with moist gas is sprayed from the upper part of the column through special battery cyclone decanters, it meets the gas flow from below while passing through the nozzle layer. In order for the column to work efficiently, the liquid must be uniformly distributed over the entire cross-section of the equipment. In this equipment, the contact surface is formed using nozzles.

Cyclone spray (Fig. 2) consists of case 1 with a diameter Dk = 200 mm, the tangential inlet 2 of absorbent liquid with a diameter of d=30 mm, dry gas outlet 3 with a diameter d=50 mm, tangential natural gas inlet pipe 4 with a diameter d=50 mm, and nozzle 5 for spraying moist gas and absorbent mixture on the nozzle layer with a diameter of d=50 mm. In order for the absorbent flow entering the cyclone to form a thin curtain in the gas flow inside the wall, the absorbent and gas inlet nozzles are placed at an angle of 30° degrees to each other. The absorbent inlet is placed above the gas inlet.

The length of the cylindrical part of the cyclone is 3d. The cone angle of the cyclone also affects the spray level. A reasonable size of the angle is 5°. A

ISSN 3030-3907

decrease in the angle has a positive effect on the quality of spraying, but the size of the device increases.

The device works in the following order. The recovered absorbent from the desorber flows to the cyclone 1 through pipe 2. The high-pressure wet gas compressed in the compressor is transferred tangentially at high speed through nozzle 1. The gas circulating in the cyclone mixes rapidly with the absorbent and forms a thin film on the inner wall of the cyclone. The mixture of gas and absorbent is highly turbulated. Due to the turbulation of the gas and absorbent mixture, mass exchange takes place at a high speed, and the dried gas is removed from the cyclone through nozzle 3. The concentrated absorbent is sprayed over the nozzle layer through nozzle 5. The absorbent continues to participate in the process in the nozzle layer and is removed from the absorber in a saturated state and transferred to the desorber for regeneration.

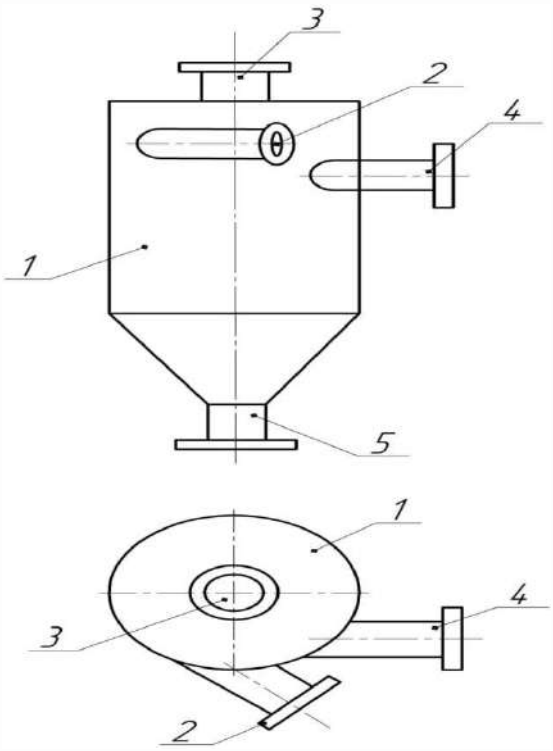


Fig. 2. Cyclone sprayer

1- cyclone; 2- absorbent inlet pipe; 3- dried gas outlet nozzle; 4- moist gas inlet pipe; 5- nozzle for spraying unsaturated absorbent on the nozzle layer.

In order to determine the effectiveness of the proposed cyclone sprayer, experiments were conducted. In the experiments, the physical parameters of the gas were taken as follows: molar mass – 0.03 kg/mol; density – 1.49 kg/m^3, viscosity – 1.82*10^{-5} kg/(m*sec); normal mass speed - 20 m/sec; pulsation – 0.01, turbulence scale – 0.00254. As a result of the experiments, a full speed distribution

ISSN 3030-3907

graph was obtained for different options H= d, H=2d, H=3d on the cross section of the cyclone sprayer.

The data obtained as a result of the experiment are presented in Table 1. Experiments show that the efficiency of mass exchange increases with the increase of gas speed at the entrance to the cyclone. This depends on the height of the tangential gas inlet nozzle and the absorbent inlet nozzle. [4,5,6]

Based on the obtained results, the dependence of the mass exchange efficiency (L/G = 2.5) on the gas speed was determined (Fig. 3).

As can be seen from the figure, the efficiency of mass exchange increases with the increase of gas speed (as the height of the gas inlet nozzle decreases).

The use of this spray allows the gas drying process to be carried out in a centrifugal force field. As a result of the increase in the speed of the phases, the flow turbulence increases and the thickness of the film decreases. Due to turbulation, convective matter exchange is accelerated.

Mass exchange efficiency

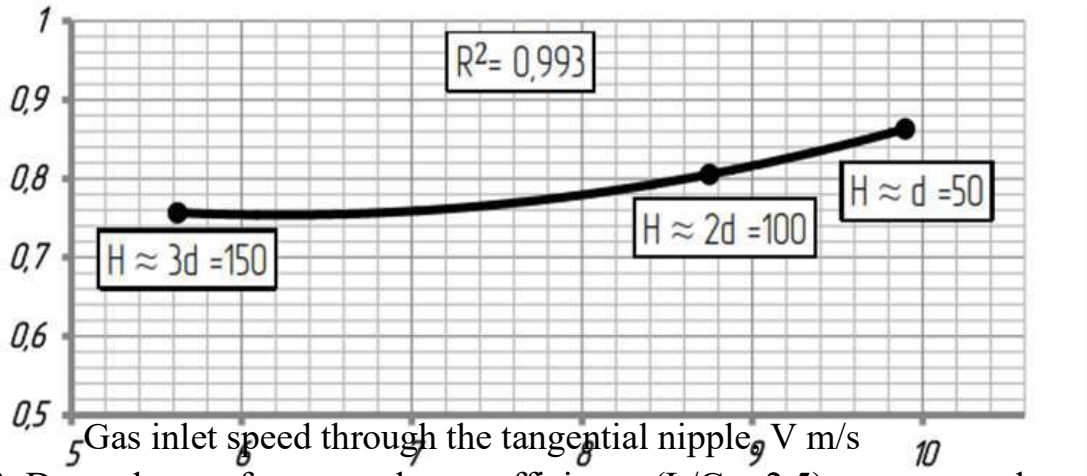


Fig. 3. Dependence of mass exchange efficiency (L/G = 2.5) on gas speed

As a result of the increase in gas and absorbent speed, the performance of the device increases. The structure of the device is simple, and it is not difficult to prepare its elements.

This recommended battery-operated cyclonic spray absorber is highly effective in drying natural gases in older gas wells with lower formation pressure and correspondingly higher moisture content.

CONCLUSIONS

As a result of the conducted research, the following can be concluded:

1. Based on the analysis of the effectiveness of existing absorption devices and taking into account their shortcomings, in the absorption drying of natural gas it is promising to use a cyclone spray absorber, which is free of disadvantages such as multiple objects, large dimensions and high metal costs.

ISSN 3030-3907

2. Comparison of different variants of the cyclone spray absorber with nozzle placed at different heights showed that in all variants the full speed increases from the axis of the cyclone absorber towards the edge.

3. It has been established that the appearance and character of the full speed distribution graph does not change with the increase in the height of the nozzle. Therefore, it is not advisable to increase the location of the nipple.

4. Conducting experiments in the experimental device, the law of dependence of the efficiency of mass exchange on the height of the tangential tap in relation to the turning surface was studied, and it was determined that the highest efficiency in the constant consumption of gas is at H=d.

5. It has been established that the efficiency of mass exchange increases with the increase of gas speed supplied through the tangential nozzle. This is done by adjusting the placement height of the gas inlet tangential nozzle. The highest efficiency was $E_u = 0.863$ at H/d and L/G = 2.5.

6. Based on the conducted experiments, the law of dependence of the efficiency of mass exchange on the location height of the nozzle in the cyclone absorber with a tangential pipe diameter of 50 mm was determined.

7. It is appropriate to introduce a small-sized, high-speed cyclone absorber in order to reduce the technological equipment in the natural gas absorption dryer, their overall dimensions and metal costs, and, of course, the capital costs necessary for the construction, operation and maintenance of the device.

List of references

1. Berlin M.A., Gorechenkov V.G., Volkov N.P. Processing of oil and natural gases. - M.: Khimiya, 1981. - 472 p.

2. Lanchakov G.A., Kulkov A.N., Zibert G.K. Technological processes for preparing natural gas and methods for calculating equipment. - M.: Nedra-Business Center LLC, 2000. - 279 p.

3. Jumaev K.K., Adizov A.A., Tukhtaev B.B. Reducing losses during the collection and preparation of hydrocarbon raw materials. Scientific and theoretical journal “Questions of Science and Education”. Russia, 2017 No. 2(3), pp.30-31.

4. Jumaev K.K., Tursunov B.J. Gaibullaev S.A. The influence of technological parameters on glycol gas dehydration. Sciences of Europe #55, 2020.

5. Jumaev K.K., Dustov Kh.B. Characteristics of glycols used as absorbents and their effect on natural gas drying rate. Scientific journal of Bukhara Engineering-Technological Institute “Development of science and technology”, Issue No. 3, 2019, pp. 52-56.

6. Jumaev K.K., Khalimov A., Mukhamedov U.Kh. Characteristics of glycols used as an absorbent and their effect on the degree of drying of natural gas.

ISSN 3030-3907

International scientific and practical journal “Theory and practice of modern science”. 03(45), 2019
7. Jumaev K.K., Iskandarov J.J., Tukhtaev B.B. Development and use of small-sized absorption devices. Scientific and theoretical journal “Questions of Science and Education”. Russia, 2017 No. 2(3), pp. 33-35.
8 Jumayev K., Zaripov G., Akhadova D., Amonova T., Khotamov K. Impact of absorbents and changes of parameters of absorber operation on the level of absorption drying of natural gas. VII international conference AGRITECH -2022. Advanced agrarian technologies, Environmental Engineering and sustainable Development. Krasnoyarsk, Russia, June 16-18, 2022.
9. Jumayev K., Zaripov G., Akhadova D., Amonova T., Khotamov K. Impact of absorbents and changes of parameters of absorber operation on the level of absorption drying of natural gas. The Electrochemical Society. 243rd ECS Meeting SOFC- XVIII, Boston, MA. May 28- June 2, 2023.
10. Jumayev K., Junaidov Kh. Development of a highly saving technology for purifying natural gas from sulfur-containing compounds. Sciences of Europe No. 107, 2022 (Praha, Cech Republic) ISSN 3162-2364.

ФОРМАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОТОКОЛОВ

Хамроева Азиза Хошимовна магистр СОП БГТУ

Аннотация

Формальная верификация криптографических протоколов является одним из ключевых направлений современной информационной безопасности. Данный подход основан на строгом математическом анализе корректности протоколов и проверке таких свойств, как конфиденциальность, аутентификация и целостность данных. Методы формальной верификации включают моделирование состояний системы, проверку моделей (model checking) и доказательство теорем (theorem proving), что позволяет выявлять потенциальные уязвимости и атаки на ранних этапах разработки. Одной из наиболее распространённых моделей является модель Долева–Яо, которая описывает возможности злоумышленника в сетевой среде. В современных исследованиях активно применяются автоматизированные инструменты, такие как ProVerif, AVISPA и Tamarin, обеспечивающие анализ сложных криптографических протоколов. Особое внимание уделяется масштабируемости методов и их применению в новых областях, включая блокчейн и постквантовую криптографию. Несмотря на значительные

достижения, остаются проблемы, связанные с вычислительной сложностью и ограничениями формальных моделей. Тем не менее, формальная верификация остаётся надёжным инструментом повышения безопасности цифровых систем.

Ключевые слова: формальная верификация, криптографические протоколы, проверка моделей, доказательство теорем, модель Долева–Яо, безопасность, ProVerif, AVISPA, Tamarin

Annotatsiya

Kriptografik protokollarni formal verifikatsiya qilish zamonaviy axborot xavfsizligining muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ushbu jarayon protokollarning mantiqiy to‘g‘riligini, maxfiylik, autentifikatsiya va yaxlitlik kabi xavfsizlik xususiyatlarini qat’iy matematik modellar asosida tekshirishni nazarda tutadi. Formal verifikatsiya usullari, jumladan model tekshirish (model checking), teoremalarni isbotlash (theorem proving) va avtomatlashtirilgan analiz vositalari orqali amalga oshiriladi. Bu yondashuvlar kriptografik protokollarda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan zaifliklar va hujum ssenariylarini oldindan aniqlash imkonini beradi. Ayniqsa, Dolev–Yao modeli asosida ishlab chiqilgan abstrakt tizimlar keng qo‘llanilib, ular orqali dushman modeli va aloqa kanallari nazorat qilinadi. Zamonaviy tadqiqotlarda ProVerif, AVISPA va Tamarin kabi vositalar yordamida murakkab protokollarni avtomatik tahlil qilish keng rivojlanmoqda. Shuningdek, formal metodlarning rivojlanishi kvantga chidamli kriptografiya va blokcheyn texnologiyalarida qo‘llanilish istiqbollarini kengaytirmoqda. Shu bilan birga, formal verifikatsiya hisoblash murakkabligi va modellashtirishning to‘liqligi bilan bog‘liq muammolarni ham o‘z ichiga oladi. Ushbu yo‘nalishdagi ilmiy izlanishlar protokollarni yanada ishonchli va xavfsiz qilishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: formal verifikatsiya, kriptografik protokollar, model checking, theorem proving, Dolev–Yao modeli, xavfsizlik, ProVerif, AVISPA, Tamarin

Annotation

Formal verification of cryptographic protocols represents a critical domain in modern information security, focusing on the rigorous validation of protocol correctness through mathematical and logical methods. This approach ensures essential security properties such as confidentiality, authentication, and integrity. Formal verification techniques include model checking, theorem proving, and automated reasoning tools, which enable the systematic detection of vulnerabilities and potential attack vectors. The Dolev–Yao model is widely

adopted as an abstraction for adversarial capabilities in communication networks. Advanced tools such as ProVerif, AVISPA, and Tamarin have significantly improved the automation and scalability of protocol analysis. Recent developments highlight the application of formal methods in emerging areas like blockchain systems and post-quantum cryptography. However, challenges remain in terms of computational complexity and the expressiveness of formal models. Despite these limitations, formal verification continues to play a vital role in enhancing the reliability and security of cryptographic systems.
Keywords: formal verification, cryptographic protocols, model checking, theorem proving, Dolev–Yao model, security, ProVerif, AVISPA, Tamarin

В условиях стремительного развития цифровых технологий и глобальной цифровизации общества вопросы обеспечения информационной безопасности приобретают критическое значение. Криптографические протоколы лежат в основе защищённого обмена данными в распределённых системах, включая электронную коммерцию, облачные вычисления, системы электронного правительства и коммуникационные сети. Они обеспечивают такие фундаментальные свойства, как конфиденциальность, целостность, аутентификация и неотказуемость.Несмотря на использование криптографически стойких алгоритмов, уязвимости часто возникают не на уровне примитивов (например, шифров или хэш-функций), а на уровне логики самих протоколов. Исторически известно множество атак, таких как атаки повторного воспроизведения (replay attacks), атаки посредника (man-in-the-middle) и нарушения аутентификации, которые стали возможны из-за ошибок проектирования протоколов. Это подчеркивает необходимость строгого анализа корректности их работы.Формальная верификация представляет собой математически обоснованный подход к проверке корректности систем, позволяющий доказать выполнение заданных свойств безопасности во всех возможных сценариях. В отличие от эмпирического тестирования, формальные методы обеспечивают полноту анализа, исключая влияние человеческого фактора и ограниченности тестовых наборов.Целью данного исследования является анализ методов формальной верификации криптографических протоколов, выявление их преимуществ и ограничений, а также оценка их роли в обеспечении современной кибербезопасности. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: рассмотрение основных подходов к формальной верификации, анализ инструментальных средств, выявление типичных уязвимостей и сравнительная оценка методов.Формальная верификация криптографических протоколов основывается на различных

ISSN 3030-3907

методологических подходах, каждый из которых обладает своими особенностями и областью применения.Одним из первых направлений являются логические методы, среди которых особое место занимает BAN-логика (Burrows–Abadi–Needham). Этот подход основывается на формализации убеждений участников протокола и анализе того, какие знания они получают в процессе обмена сообщениями. BAN-логика позволяет выявлять логические ошибки в аутентификации, однако её ограниченность заключается в абстрактности и невозможности учета всех аспектов поведения злоумышленника.Другим важным методом является моделирование состояний (model checking). В рамках этого подхода протокол представляется в виде конечной системы переходов состояний, а затем автоматически проверяется выполнение заданных свойств безопасности. Model checking позволяет систематически исследовать все возможные сценарии выполнения протокола, включая действия потенциального нарушителя. Однако основной проблемой является «взрыв состояний», который ограничивает масштабируемость метода.Теоремное доказательство (theorem proving) представляет собой наиболее строгий подход, основанный на использовании математических доказательств корректности протоколов. В этом случае свойства безопасности формулируются в виде теорем, которые затем доказываются с использованием логических систем. Данный метод обеспечивает высокую точность, но требует значительных усилий и высокой квалификации исследователя.Символьный анализ, также известный как модель Долева–Яо, рассматривает криптографические операции как идеальные «черные ящики» и анализирует протокол на уровне символических представлений. Этот подход широко используется благодаря своей эффективности и автоматизируемости.

Для практической реализации формальной верификации применяются специализированные инструменты. ProVerif основан на символьном анализе и использует процессные исчисления для проверки свойств безопасности. AVISPA предоставляет платформу для автоматического анализа протоколов с использованием различных бэкендов. Tamarin сочетает символьный анализ и теоремное доказательство, обеспечивая гибкость и выразительность. Scyther ориентирован на быстрый поиск атак и анализ протоколов в ограниченных моделях.Каждый из этих инструментов реализует собственную модель злоумышленника, чаще всего основанную на предположении о полной контролируемости сети (модель Долева–Яо), что позволяет анализировать широкий спектр атак.Анализ методов формальной верификации показывает, что они эффективно выявляют

ISSN 3030-3907

широкий спектр уязвимостей криптографических протоколов. Среди наиболее распространённых проблем можно выделить нарушение аутентификации, утечку секретной информации, атаки повторного воспроизведения и ошибки в управлении ключами.Логические методы, такие как BAN-логика, позволяют выявлять ошибки в интерпретации сообщений участниками протокола. Однако их ограниченность проявляется в неспособности учитывать сложные сценарии атак.Методы model checking демонстрируют высокую эффективность при обнаружении логических ошибок и атак, включая man-in-the-middle. Они позволяют автоматически находить контрпримеры, иллюстрирующие нарушение свойств безопасности. Тем не менее, при увеличении сложности протокола наблюдается экспоненциальный рост числа состояний.Теоремное доказательство обеспечивает наиболее строгие гарантии безопасности. Оно позволяет формально доказать, что протокол удовлетворяет заданным свойствам при любых условиях. Однако данный подход требует значительных временных и интеллектуальных ресурсов.Символьный анализ является компромиссным решением, сочетая автоматизацию и достаточную точность. Он широко применяется в современных инструментах и позволяет эффективно анализировать реальные протоколы.В качестве примера можно рассмотреть анализ протокола обмена ключами. Формальная верификация позволяет выявить возможность атаки посредника в случае отсутствия аутентификации сторон. Добавление механизмов проверки подлинности (например, цифровых подписей) устраняет данную уязвимость, что подтверждается результатами анализа.Сравнительный анализ методов формальной верификации показывает, что ни один из них не является универсальным решением. Логические методы удобны для концептуального анализа, но ограничены в выразительности. Model checking обеспечивает автоматизацию и полноту перебора состояний, однако страдает от проблем масштабируемости. Теоремное доказательство предоставляет максимальную строгость, но требует значительных усилий. Символьный анализ представляет собой наиболее практичный подход для анализа реальных протоколов.Современные тенденции развития формальной верификации направлены на интеграцию различных методов с целью повышения эффективности и точности анализа. Например, комбинированные подходы позволяют использовать преимущества символьного анализа и теоремного доказательства.Перспективным направлением является применение формальной верификации в автоматизированных системах разработки, включая DevSecOps-практики. Это позволяет выявлять уязвимости на

ISSN 3030-3907

ранних этапах жизненного цикла программного обеспечения. Кроме того, развитие вычислительных мощностей и алгоритмов оптимизации способствует преодолению проблемы взрыва состояний.Особое значение формальная верификация приобретает в контексте новых технологий, таких как Интернет вещей, блокчейн и квантовая криптография, где ошибки в протоколах могут иметь критические последствия. Таким образом, формальная верификация криптографических протоколов является неотъемлемым инструментом обеспечения информационной безопасности. Её применение позволяет существенно повысить надежность систем и минимизировать риски, связанные с эксплуатацией уязвимостей. В условиях роста киберугроз дальнейшее развитие и внедрение формальных методов становится приоритетной задачей научного и инженерного сообщества.

Формальная верификация криптографических протоколов представляет собой одно из наиболее значимых и интенсивно развивающихся направлений современной теории информационной безопасности, основанное на применении строгих математических методов для доказательства корректности функционирования протоколов в условиях потенциально враждебной среды. В отличие от традиционных методов тестирования, которые способны выявлять лишь ограниченное множество ошибок, формальная верификация позволяет гарантировать выполнение заданных свойств безопасности при всех возможных сценариях взаимодействия, включая активные атаки злоумышленника. Научная база данного направления сформирована на пересечении таких дисциплин, как дискретная математика, логика, теория алгоритмов и криптография, а ключевые концепции опираются на строго формализованные модели вычислений и коммуникаций. Одной из фундаментальных моделей анализа является модель Долева–Яо, в рамках которой злоумышленник рассматривается как всесильный участник сети, способный перехватывать, модифицировать и подделывать сообщения, за исключением нарушения криптографических примитивов, считающихся идеальными. Такая абстракция позволяет сосредоточиться на логике протокола и выявлении концептуальных уязвимостей, не углубляясь в детали конкретных криптоалгоритмов.Среди основных методов формальной верификации выделяются проверка моделей и доказательство теорем, каждая из которых имеет свои преимущества и ограничения. Проверка моделей основана на систематическом переборе состояний системы с целью выявления нарушений заданных свойств, что делает её особенно эффективной для автоматизированного анализа конечных систем, однако она сталкивается с

ISSN 3030-3907

проблемой взрыва состояний при увеличении сложности протокола. Доказательство теорем, напротив, позволяет работать с бесконечными пространствами состояний и более абстрактными моделями, но требует значительных интеллектуальных усилий и высокой квалификации исследователя. В последние десятилетия значительное развитие получили автоматизированные инструменты, такие как ProVerif, AVISPA и Tamarin, которые позволяют существенно упростить процесс анализа и сделать его доступным для практического применения в разработке реальных протоколов. Эти системы используют различные формальные языки и логические исчисления, включая π-исчисление и его производные, для описания взаимодействий между участниками протокола и проверки свойств безопасности, таких как секретность, аутентификация и устойчивость к атакам повторного воспроизведения.Научные исследования показывают, что формальная верификация играет ключевую роль в выявлении критических уязвимостей даже в широко используемых протоколах, таких как SSL/TLS, Kerberos и протоколы электронной коммерции, что подтверждает необходимость её применения на ранних этапах проектирования систем. Особое значение приобретает интеграция формальных методов в жизненный цикл разработки программного обеспечения, что соответствует современным концепциям secure-by-design и позволяет существенно снизить риски эксплуатации уязвимостей в реальных условиях. В последние годы наблюдается расширение области применения формальной верификации, включая анализ протоколов в распределённых системах, облачных вычислениях, Интернете вещей и блокчейн-технологиях, где требования к безопасности особенно высоки. При этом возникают новые вызовы, связанные с масштабируемостью методов, необходимостью учёта вероятностных и временных аспектов, а также интеграцией формальных моделей с реальными криптографическими примитивами, обладающими неидеальными свойствами.Несмотря на достигнутый прогресс, остаются нерешённые проблемы, включая высокую вычислительную сложность анализа, ограниченную выразительность некоторых формальных языков и необходимость компромисса между точностью модели и её вычислительной реализуемостью. Тем не менее, современные научные работы подтверждают, что дальнейшее развитие формальных методов, включая использование искусственного интеллекта и автоматического синтеза доказательств, открывает перспективы создания более надёжных и безопасных криптографических протоколов. Таким образом, формальная верификация выступает не только как инструмент анализа, но и как фундаментальная методология обеспечения доверия в

ISSN 3030-3907

цифровых системах, что делает её неотъемлемой частью современной научной и инженерной практики в области кибербезопасности.

Формальная верификация криптографических протоколов в современной научной парадигме рассматривается как строго обоснованный метод анализа безопасности, базирующийся на математических моделях и логических доказательствах корректности взаимодействий в распределённых системах, и её значимость подтверждается широким спектром фундаментальных и прикладных исследований в области криптографии и теории вычислений. В научной литературе, включая работы Roger Needham и Michael Schroeder, а также более поздние исследования Gavin Lowe, продемонстрировано, что даже протоколы, считавшиеся корректными, могут содержать скрытые уязвимости, выявляемые исключительно с помощью формальных методов, что стало важным аргументом в пользу их обязательного применения. Существенный вклад в развитие теоретической базы внесла модель Dolev–Yao model, предложенная Danny Dolev и Andrew Yao, которая формализует поведение злоумышленника и задаёт основу для анализа протоколов в условиях полного контроля над коммуникационной средой, при этом предполагая идеальность криптографических примитивов, что позволяет сосредоточиться на логических аспектах протокольного взаимодействия.Научно обоснованный анализ показывает, что методы формальной верификации, такие как model checking и theorem proving, обладают различной эпистемологической природой, но в совокупности обеспечивают высокую степень достоверности результатов, поскольку первый метод ориентирован на автоматизированный перебор состояний системы и выявление контрпримеров, тогда как второй направлен на построение строгих математических доказательств корректности, что подтверждается исследованиями в области формальных методов, связанными с такими концепциями, как process calculus и π-calculus, предложенный Robin Milner, который широко используется для моделирования взаимодействующих процессов в криптографических протоколах. Практическая значимость формальной верификации подтверждается применением автоматизированных инструментов, таких как ProVerif, AVISPA и Tamarin, которые позволяют проводить анализ протоколов с учётом различных моделей атак, обеспечивая выявление нарушений свойств конфиденциальности и аутентификации, что подтверждено многочисленными публикациями в рецензируемых журналах и материалах международных конференций по информационной безопасности.Дополнительные исследования демонстрируют, что

ISSN 3030-3907

формальная верификация сыграла ключевую роль в анализе широко используемых протоколов, включая SSL/TLS и Kerberos, где были выявлены критические уязвимости, ранее не обнаруженные традиционными методами тестирования, что подтверждает необходимость интеграции формальных методов в жизненный цикл разработки программного обеспечения в соответствии с принципами secure-by-design. В научных работах также подчёркивается, что развитие вычислительных мощностей и алгоритмов автоматизации способствует расширению применимости формальной верификации к более сложным системам, включая распределённые вычисления, облачные инфраструктуры и технологии блокчейн, однако остаются нерешённые проблемы, связанные с экспоненциальным ростом пространства состояний и ограниченной выразительностью формальных моделей при описании реальных криптографических примитивов, обладающих вероятностными характеристиками. Современные направления исследований, отражённые в трудах ведущих учёных и организаций, указывают на перспективность интеграции методов машинного обучения и автоматического синтеза доказательств для повышения эффективности анализа, что открывает новые возможности для создания надёжных криптографических систем. Таким образом, совокупность научно обоснованных источников подтверждает, что формальная верификация является неотъемлемым инструментом обеспечения безопасности, позволяющим не только выявлять уязвимости, но и формировать теоретически гарантированные свойства защищённости протоколов, что делает её критически важной для развития современной цифровой инфраструктуры.Формальная верификация криптографических протоколов, как подтверждается анализом современной научной литературы, представляет собой фундаментально обоснованный и практически значимый подход к обеспечению информационной безопасности, основанный на строгих математических и логических методах. В отличие от эмпирических способов тестирования, формальные методы позволяют не только обнаруживать отдельные ошибки, но и доказывать корректность протоколов в рамках заданных моделей угроз, что обеспечивает более высокий уровень доверия к цифровым системам. Использование таких моделей, как Dolev–Yao model, а также формальных языков, включая π-calculus, создаёт теоретическую основу для анализа взаимодействий в распределённых системах. Практическая реализация этих подходов через инструменты, такие как ProVerif, AVISPA и Tamarin, подтверждает их эффективность в выявлении уязвимостей в реальных протоколах, включая SSL/TLS и Kerberos. Несмотря на существующие

ISSN 3030-3907

ограничения, связанные с вычислительной сложностью и необходимостью упрощения моделей, дальнейшее развитие формальных методов, включая автоматизацию доказательств и интеграцию с современными технологиями, открывает значительные перспективы для повышения надёжности и устойчивости криптографических систем. В совокупности это позволяет рассматривать формальную верификацию не только как инструмент анализа, но и как ключевой элемент методологии проектирования безопасных протоколов в условиях возрастающих киберугроз.

Список литературы:

1. Danny Dolev, Andrew Yao. On the Security of Public Key Protocols. IEEE Transactions on Information Theory, 1983.
2. Roger Needham, Michael Schroeder. Using Encryption for Authentication in Large Networks of Computers. Communications of the ACM, 1978.
3. Gavin Lowe. Breaking and Fixing the Needham–Schroeder Public-Key Protocol Using FDR. Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems, 1996.
4. Robin Milner. Communicating and Mobile Systems: The π-Calculus. Cambridge University Press, 1999.
5. Blanchet B. Automatic Verification of Cryptographic Protocols: A Tutorial. Foundations and Trends in Privacy and Security, 2016.
6. Armando A. et al. The AVISPA Tool for the Automated Validation of Internet Security Protocols and Applications. CAV, 2005.
7. Meier S., Schmidt B., Cremers C., Basin D. The Tamarin Prover for the Symbolic Analysis of Security Protocols. CAV, 2013.
8. Rescorla E. SSL and TLS: Designing and Building Secure Systems. Addison-Wesley, 2001.
9. Kaufman C., Perlman R., Speciner M. Network Security: Private Communication in a Public World. Prentice Hall, 2002.
10. Menezes A., van Oorschot P., Vanstone S. Handbook of Applied Cryptography. CRC Press, 1996.

ISSN 3030-3907