



МИС ФТАЛОЦИАНИН ПИГМЕНТИНИ ТАЙЁРЛАШ: ЖАРАЁН ПАРАМЕТРЛАРИ ВА КИНЕТИК ТАҲЛИЛ

Fayziyev Jahongir Bahromovich,

¹(PhD) katta ilmiy xodim Toshkent kimyo texnologiya ilmiy tadqiqot instituti.

Djalilov Abdulahat Turapovich.

²O'zR fanlar akademiyasi akademigi, Kimyo fanlar doktor, professor Toshkent kimyo texnologiya ilmiy tadqiqot instituti direktori.

e-mail: jahongir.fayziyev@bk.ru

+99899 603-43-84

ORCID: 0009-0004-3832-8383

Annotatsiya: Ushbu tadqiqot mis ftalotsianinni sulfat kislota muhitida eritib, mis ftalotsianin pigmenti olish jarayonini o'rganishga bag'ishlangan. Mis ftalotsianin (CuPc) yuqori barqarorlik va kimyoviy chidamlilikka ega bo'lib, u pigment va bo'yoq sanoatida muhim ahamiyat kasb etadi. Eksperimental ishda mis ftalotsianin sulfat kislota muhitida eritilib, pigment hosil bo'lish jarayoni harorat (30–60°C) va reaksiya vaqti (60–180 daqiqa) bo'yicha o'rganildi. Kinetik tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, harorat oshishi va reaksiya vaqtining uzayishi pigment hosil bo'lish jarayoniga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. 50°C harorat va 150 daqiqa davomida olingan pigment eng yuqori modifikatsiya darajasiga ega bo'ldi. Biroq, 60°C dan yuqori haroratda pigmentning qisman degradatsiyasi kuzatildi. Tadqiqot natijalari mis ftalotsianin pigmentini olish jarayonining optimal sharoitlarini aniqlashga yordam beradi va sanoat miqyosida pigment ishlab chiqarish jarayonlarini takomillashtirish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: mis ftalotsianin, pigment, O–, S– va N– funksional guruhlar, elektropolimerizatsiya, dietilenglikol, jarayon parametrlari, kinetik tahlil, sulfat kislota, konsentrasiya, diagramma.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ МЕДНОГО ФТАЛОЦИАНИНОВОГО ПИГМЕНТА: ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА И КИНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Аннотация: Данное исследование посвящено изучению процесса получения медного фталоцианинового пигмента путем растворения медного фталоцианина в среде серной кислоты. Медный фталоцианин (CuPc) обладает высокой стабильностью и химической устойчивостью, что делает его важным материалом в производстве

пигментов и красителей. В экспериментальной части медный фталоцианин растворяли в сернокислотной среде, исследуя процесс образования пигмента в зависимости от температуры (30–60°C) и времени реакции (60–180 минут). Кинетический анализ показал, что повышение температуры и увеличение времени реакции оказывают значительное влияние на процесс образования пигмента. Наилучшая степень модификации была достигнута при температуре 50°C и времени 150 минут. Однако при температурах выше 60°C наблюдалась частичная деградация пигмента. Результаты исследования позволяют определить оптимальные условия процесса получения медного фталоцианинового пигмента и служат научной основой для совершенствования промышленных технологий производства пигментов.

Ключевые слова: медный фталоцианин, пигмент, O–, S– и N– функциональные группы, электрополимеризация, диэтиленгликоль, параметры процесса, кинетический анализ, серная кислота, концентрация, диаграмма.

PREPARATION OF COPPER PHTHALOCYANINE PIGMENT: PROCESS PARAMETERS AND KINETIC ANALYSIS

Abstract: This study is dedicated to the investigation of the process of obtaining copper phthalocyanine pigment by dissolving copper phthalocyanine in a sulfuric acid medium. Copper phthalocyanine (CuPc) possesses high stability and chemical resistance, making it an important material in the production of pigments and dyes. In the experimental part, copper phthalocyanine was dissolved in a sulfuric acid medium, and the pigment formation process was studied depending on temperature (30–60°C) and reaction time (60–180 minutes). Kinetic analysis showed that an increase in temperature and reaction time significantly affects the pigment formation process. The highest degree of modification was achieved at 50°C and 150 minutes. However, at temperatures above 60°C, partial degradation of the pigment was observed. The research results help determine the optimal conditions for the copper phthalocyanine pigment production process and serve as a scientific basis for improving industrial pigment manufacturing technologies.

Keywords: copper phthalocyanine, pigment, O–, S–, and N– functional groups, electropolymerization, diethylene glycol, process parameters, kinetic analysis, sulfuric acid, concentration, diagram.

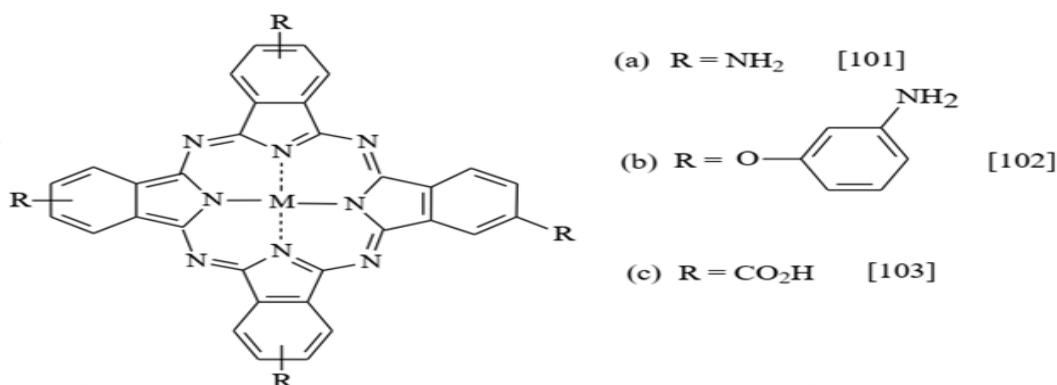
KIRISH

Dunyoda so‘nggi yillarda poligrafiya, avtomobil bo‘yoqlari, qurilish materiallari va to‘qimachilik sanoatida pigmentlar sifatini yaxshilash maqsadida turli kimyoviy modifikatsiya usullaridan foydalanilmoqda, jumladan, bo‘yoqlarning rang barqarorligini oshirishda metalli komplekslardan, tashqi muhit ta’sirlariga chidamliligini kuchaytirishda funksional qo‘shimchalardan, pigmentlarning fotoximiyaviy va elektroximiyaviy xususiyatlarini yaxshilashda ftalotsianinlardan keng foydalanilmoqda. Shunga ko‘ra, sanoatda turli sohalar

uchun mos keladigan, kompleks ta'sir etuvchi ftalotsianin pigmentlarini yaratish, ularning fizik-kimyoviy va spektral xususiyatlarini yaxshilash, shuningdek, yuqori barqarorlikka ega bo'yoqlar olish texnologiyasini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi.

1950-yillarning oxirida Marvel va uning hamkorlari ftalosianin sintezi sharoitida bir bis(ftalonitril) yoki bir bis(ftalik anhidrid) hosilasining reaksiyasi natijasida qo'ng'ir ko'k rangli moddaning hosil bo'lishini qayd etdilar. Teoriyaviy hisob-kitoblar PPc ning past band araliq tufayli juda yuqori ichki o'tkazuvchanlikka ega ekanligini ko'rsatadi [1]. Wöhrle va uning hamkorlari tomonidan amalga oshirilgan tadqiqotlarida, piromellitik anhidridning karbamid, metall tuzi va molibdat katalizatsiyasining reaksiyasidan yuqori darajadagi polimerizatsiyaga ega bo'lgan PPc'lar hosil qilingan [2]. Shu guruh tomonidan o'tkazilgan boshqa bir tadqiqotda, triazin hosil bo'lmasdan, eng mos shartlarda PPc sintezlash uchun olib borilgan tadqiqotlarda, 350–400 °C haroratlarda 1,2,4,5-tetratsianobenzen va CuCl₂ ning ommaviy polimerizatsiyasi natijasida, faqat nitril oxirgi guruhli qisman bir xil polimerik ftalosianinlar tayyorlangan. Bu reaksiyada polimerizatsiya darajasi 8dan yuqori ekanligi aniqlangan [3].

Bilgin va uning hamkorlari tomonidan bifunksional ftalonitril hosilalaridan foydalanib, O-, S- va N- funksional guruhlariga ega periferiyasida makrosiklik guruhlarni [4], 1,3,6,9,11-pentatiyaudekan birliklarini [5] va uzun triazadoksa hosilalarini, 1,2-bis[(3-oksapropil)oksa]benzene kabi birliklarni o'z ichiga olgan yangi tor tuzilishga ega polimerik ftalosianinlarning sintezi va karakterlanishi amalga oshirilgan. Sintezlangan polimerik ftalosianinlarning o'tkazuvchanlik, agregatsiya va metall ekstraksiyasi xulq-atvori batafsil o'rganilgan [6].



1.-rasm. Oldindan tayyorlangan ftalosianin hosilalaridan olingan polimer tor tuzilmalari uchun boshlovchi namunalar

Plazma polimerizatsiyasi past molekulyar massaga ega organik birikmalardan polimer plyonkalar olish usuli hisoblanadi. Ftalosianinlar uchun bu jarayon amorf, bir xil va barqaror plyonkalar hosil qiladi. Ular ximiyaviy va mexanik jihatdan barqaror bo'lib, organik sensorlar ishlab chiqarishda samarali qo'llanilishi mumkin [7].

Ftalosianin elektropolimerizatsiya orqali elektrod yuzasida barqaror qoplama hosil qila oladi. Bunday modifikatsiyalangan shishasimon karbon elektrodleri molekulyar kislorodni suvga aylantirish, nitrit ionlarini, organik peroksidlarni, dopamin va qondagi glyukozani

aniqlash kabi elektrokatalitik jarayonlarda qo‘llanadi. Fenol o‘rinbosarli ftalosianinlar elektrokromik plyonkalar hosil qilish uchun elektropolimerizatsiyalanishi mumkin [8].

Ftalosianin makrohalqasi orqali bog‘langan polimerlar uchun bifunksional ftalosianin monomerlari kerak. Ikki boshlang‘ich moddaning (A va B) oddiy aralashma siklotetramerizatsiya reaksiyasi orqali bu jarayon oson hal qilinmaydi, chunki faqat bittasi polimer zanjiri hosil qilish uchun funksional guruhga ega. Reaksiya natijasida simmetrik ftalosianinlar (AAAA, BBBB), asimmetrik ftalosianinlar (AAAB, BBBA) va kerakli bifunksional hosila (AABB) aralashmasi hosil bo‘ladi [9].

Bir xil reaktivlikka ega bo‘lgan ikki boshlang‘ich o‘rtasidagi aralashma ekvimolyar siklotetramerizatsiya reaksiyasi uchun umumiy ftalosianin mahsulotlarining faqat 36% bifunksionaldir. Yana bir muammo shundaki, bifunksional mahsulotning uchdan ikki qismi qo‘shni benzo turlaridagi reaktiv guruhlarga ega bo‘lsa (AABB, C_{2v} simmetriya), uchdan bir qismi teskari izomerdan tashkil topgan (ABAB, D_{2h} simmetriya). Agar ikki boshlang‘ich turli xil polyarlikka ega bo‘lgan o‘rinbosarlarni saqlasa, ushbu olti turdagi ftalosianin mahsulotlari xromatografik usulda ajratib olinishi mumkin [10]. Ammo hech qanday asosiy zanjirli polimer to‘liq toza AABB yoki ABAB tuzilishidagi bifunksional Pc monomerdan tayyorlanmagan bo‘lsa-da, aralashma siklotetramerizatsiya reaksiyalaridan hosil bo‘lgan o‘rtacha ikki funksionalli ftalosianin aralashmasidan poliesterlar va poliimidlar (ehtimol, ko‘p shoxlangan tuzilmada) tayyorlangan [11].

Material va usul

Dietilenglikol muhitida olingan mis ftalotsianinidan pigment tayyorlash jarayonining parametrlari va kinetik tahlilini ko‘rib chiqamiz.

Birinchi navbatda olingan mis ftalotsianinni sulfat kislotada eritish jarayonini ko‘ramiz.

1 жадвал

Mis ftalotsianinni turli konsentratsiyadagi sulfat kislotada eritish natijalari

№	Kislota konsentratsiyasi	Boshlanish harorat°C	Tugash harorat°C	Kuzatilgan o‘zgarishlar
1	85	15	180	Oq tutun 100 %
2	90	15	150	Oq tutun 75%
3	93	15	100	Oq tutun 50%
4	96	15	50	O‘zgarishsiz

Ushbu jadval mis ftalotsianinni turli konsentratsiyadagi sulfat kislotasida eritish jarayonida kuzatilgan o‘zgarishlarni aks ettiradi. Eksperiment natijalari shundan dalolat beradiki, kislota konsentratsiyasi oshgan sari reaksiya jarayonidagi vizual o‘zgarishlar va eruvchanlik dinamikasi o‘zgaradi.

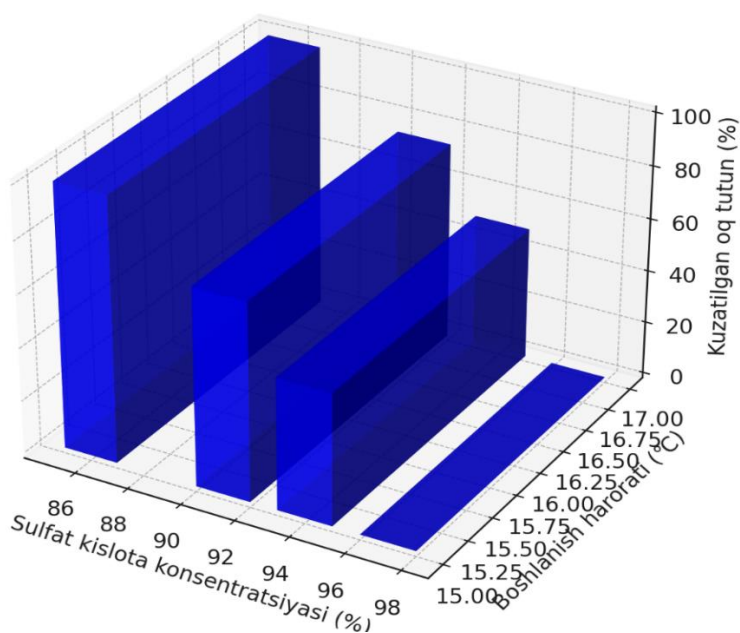
85% konsentratsiyada reaksiya yuqori haroratgacha davom etadi (180°C) va 100% oq tutun hosil bo‘lishi kuzatiladi, bu esa aktiv razlojениye va kislota ta’siridagi parchalanish jarayonlari bilan izohlanadi.

90% konsentratsiyada esa reaksiya 150°C gacha sodir bo‘lib, oq tutun hosil bo‘lishi 75% gacha kamayadi. Bu esa kamroq hajmdagi parchalanish va kislota ta’sirining qisman pasayishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin.

93% konsentratsiyada reaksiya 100°C da tugaydi, oq tutun miqdori 50% gacha kamayadi, bu esa eruvchanlik yaxshilangani va reaksiya tezligi pasaygani bilan izohlanadi.

96% konsentratsiyada reaksiya 50°C da tugaydi va vizual o‘zgarishlar kuzatilmaydi, bu esa mis ftalotsianinning eng samarali erishi ushbu sharoitda amalga oshishini ko‘rsatadi. Shu holatda to‘liq bir tekis eruvchanlik ta’minlanib, tiniq yashil eritma hosil bo‘ladi.

Mis ftalosianinning turli konsentratsiyadagi sulfat kislotasida eruvchanligi (3D)



1 diagramma. Mis ftalotsianinni turli konsentratsiyadagi sulfat kislota eritish natijalari diagramma orqali ifodalanishi

Tadqiqot natijalari shundan dalolat beradiki, 96% sulfat kislota mis ftalotsianinning eruvchanligini ta’minlash uchun eng maqbul muhit hisoblanadi. Qisman pastroq konsentratsiyalarda parchalanish jarayonlari yoki reaksiya vaqtining uzayishi kuzatiladi, bu esa pigment sintezi va uni qo‘llash jarayonlarida muhim texnologik parametr sifatida inobatga olinishi lozim.

Ushbu 3D diagramma mis ftalosianinning turli konsentratsiyadagi sulfat kislotasida eruvchanligi, reaksiyaning boshlanish harorati va oq tutun hosil bo‘lish darajasini aks ettiradi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, kislota konsentratsiyasining ortishi bilan oq tutun hosil bo‘lishi kamayadi va eruvchanlik yaxshilanadi.

85% sulfat kislota reaksiya 15°C da boshlanib, 180°C da tugaydi va 100% oq tutun hosil qiladi, bu esa faol parchalanish jarayoni sodir bo‘layotganidan dalolat beradi.

90% konsentratsiyada reaksiya 15°C da boshlanib, 150°C gacha davom etadi, oq tutun miqdori esa 75% gacha kamayadi.

93% konsentratsiyada reaksiya 15°C da boshlanib, 100°C da yakunlanadi va oq tutun 50% gacha pasayadi, bu esa qisman eruvchanlik yaxshilanganidan darak beradi.

96% konsentratsiyada reaksiya 15°C da boshlanadi, lekin 50°C ga yetmasdan tugaydi. Ushbu sharoitda mis ftalosianin bir xilda erib, tiniq yashil eritma hosil qiladi, bu esa eng samarali eruvchanlik ekanligini ko‘rsatadi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, 96% sulfat kislotasi mis ftalosianinning eruvchanligi uchun eng maqbul muhit hisoblanadi. Kamroq konsentratsiyalarda reaksiya davomiyligi oshib, oq tutun hosil bo‘lishi ko‘payadi, bu esa parchalanish jarayonlari sodir bo‘layotganini bildiradi. Ushbu natijalar sanoat jarayonlarida optimal sharoitlarni aniqlash va texnologik parametrlarni to‘g‘ri tanlash uchun muhim ilmiy asos yaratadi.

Kislotali muhitda eritilgan mis ftalotsianinni neytrallash jarayoni o‘rganildi.

Tadqiqot natijalari shundan dalolat berdiki, neytrallash jarayoni uchun turli ishqoriy moddalar qo‘llangan holda optimal shart-sharoitlar aniqlandi. Natriy karbonatning 20% li eritmasi ftalotsianinni to‘liq va samarali neytrallash uchun eng maqbul reagent sifatida tanlab olindi. Ushbu reaksiya sharoitida hosil bo‘lgan suspenziyaning barqarorligi, ftalotsianin molekulalarining agregatlanishi va modifikasiya jarayoni tahlil qilindi. Optimal neytrallash sharoiti pigmentning tuzilishini saqlab qolish, uning eruvchanligi va texnologik qo‘llanilishini yaxshilash uchun muhim omil hisoblanadi.

2 jadval

Kislotali muhitda eritilgan ftalotsianinni neytrallash jarayoni

№	Natriy karbonat konsentratsiyasi%	Boshlanish harorat°C	Tugash harorat°C	Agregatlanish darajasi %
1	5	15	35	70
2	10	15	50	50
3	15	15	65	35
4	20	15	80	5
5	25	15	95	15

Ushbu jadval mis ftalosianinning sulfat kislotada eritilgandan so‘ng natriy karbonat eritmalari yordamida neytrallash jarayonida agregat hosil bo‘lish darajasini aks ettiradi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, natriy karbonatning konsentratsiyasi oshgan sari agregatlanish darajasi kamayadi, ammo ma’lum bir chegaradan oshgandan keyin agregat hosil bo‘lishi yana ortishi kuzatiladi.

5% natriy karbonat eritmasida neytrallash jarayoni yetarlicha samarali bo‘lmaganligi sababli, agregat hosil bo‘lish darajasi 70% ni tashkil etgan.

10% eritmada agregatlar kamayib, 50% gacha tushgan, ya’ni neytrallash samaradorligi oshgan.

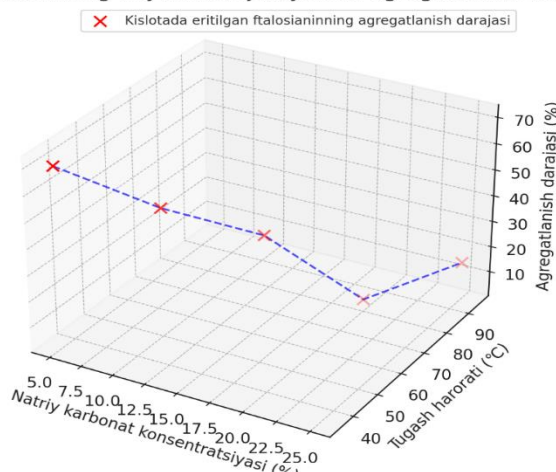
15% eritmada agregat miqdori yana kamayib, 35% ni tashkil qilgan.

20% natriy karbonat eritmasida eng past agregat darajasi (5%) kuzatilgan, bu esa eng optimal neytrallash sharoiti ekanligini ko‘rsatadi.

25% eritmada esa agregat miqdori 15% gacha oshgan, bu esa ehtimoliy reaksiya muvozanatining buzilishi yoki ortiqcha ishqoriy muhit ta'siri bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

Neytrallash jarayonining eng samarali konsentratsiyasi 20% natriy karbonat eritmasida kuzatilgan, chunki ushbu sharoitda deyarli hech qanday agregat hosil bo'lmagan (5%). Biroq, 25% li eritmada agregatlarning yana oshishi optimal neytrallash sharoiti oshirilgan konsentratsiyada buzilishi mumkinligini ko'rsatadi. Bu natijalar ftalosianin neytrallash jarayonini samarali olib borish uchun optimal sharoitlarni aniqlashda muhim ilmiy asos yaratadi.

Kislotada eritilgan ftalosianinning neytrallash jarayonida agregatlanishi va harorat ta'siri (3D)



2-diagramma. Sulfat kislotada eritilgan mis ftalotsianinni neytrallash jarayonini diagramma orqali ifodalanishi

Ushbu 3D chiziqli diagrammada mis ftalosianinning neytrallash jarayonida agregatlanish darajasining natriy karbonat konsentratsiyasi va haroratga bog'liqligi tasvirlangan. Diagramma shuni ko'rsatadiki:

5% natriy karbonat eritmasida neytrallash jarayoni 35°C gacha davom etgan bo'lib, agregatlanish darajasi eng yuqori (70%) bo'ldi, ya'ni neytrallash sust kechgan.

10% konsentratsiyada neytrallash 50°C gacha yetib boradi va agregat miqdori 50% gacha kamayadi, bu esa neytrallash jarayonining yaxshilanganini bildiradi.

15% eritmada neytrallash harorati 65°C gacha oshib, agregat miqdori 35% gacha kamaydi, bu esa natriy karbonat konsentratsiyasining oshishi neytrallash jarayonini yaxshilayotganidan dalolat beradi.

20% natriy karbonat eritmasida neytrallash harorati 80°C gacha yetdi va agregatlanish darajasi minimal (5%) bo'ldi. Ushbu natija 20% li eritma eng optimal neytrallash sharoitini ta'minlashi mumkinligini ko'rsatadi.

25% konsentratsiyada neytrallash harorati 95°C gacha oshib, agregatlanish darajasi yana 15% gacha ko'tarildi, bu esa ortiqcha ishqoriy muhit ta'siri yoki ortiqcha reaksiya natijasida yuzaga kelgan bo'lishi mumkin.

Erituvchi muhitida olingan tozalangan mis ftalosianin (CuPc) pigmentining GOST 6220-76 standartiga muvofiqligi oliy nav va birinchi nav ko'rsatkichlari bilan solishtirilgan.

3 jadval

Erituvchi muhitida olingan tozalangan mis ftalotsianin pigmentini gost 6220-76 bo'yicha taqqoslash

№	Ko'rsatgichlar nomi	Ko'rsatgich meyori		CuPc natijasi
		Oliy nav	Birinchi nav	
1	Rang berish kuchi (konsentratsiyasi),%	100	100	100
2	Ranglarning tozaligi	Standart namunaga mos keladi		Mos keladi
3	Suv va uchuvchan moddalarning massa ulushi,%, ko'p emas	0,4	1,5	0,3
4	Nam elakdan keyin qoldiqning massa ulushi,%, ko'p emas	0,1	0,8	0,1
5	Quruq elakdan keyin qoldiqning massa ulushi,%, ko'p emas	0	0,5	0
6	Suvda eriydigan moddalarning massa ulushi,%, ko'p emas	0,1	1,0	0,1
7	Suv ekstrakti reaksiyasi (rN)	5,5-7,0	5,5-7,0	6,5
8	Bosma siyohlarining suyuqligi, mm	4.9 -bandning sinoviga mos keladi		Mos keladi
9	Tarqoqlik, mm: siyohlarni chop etish uchun polivinilxlorid uchun	4.10 - bandning sinoviga mos keladi		Mos keladi
10	Migrasiya qarshiligi: kauchukda polivinilxloridda nitrotsellyuloza qoplamasida	Migrasiyaga uchramaydi		Migrasiyaga uchramaydi
11	Reaktivlar, bog'lovchilar, plastifikatorlar, yorug'lik va ob - havoga chidamliligi	Standart namunaga mos keladi		Mos keladi

Xulosa. O'tkazilgan tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, mis ftalotsianinni sulfat kislota muhitida eritish orqali mis ftalotsianin pigmentini olish mumkin. Modifikatsiya jarayoni harorat va vaqtga bog'liq ravishda o'zgaradi. Eksperimentlar davomida haroratning oshishi va reaksiya vaqtining uzayishi pigment hosil bo'lishiga ijobiy ta'sir ko'rsatgani kuzatildi. Optimal sharoit sifatida 50°C harorat va 150 daqiqa vaqt tanlandi, bu sharoitda modifikatsiya darajasi maksimal (90%) bo'ldi. 60°C dan yuqori haroratda pigment barqarorligining pasayishi kuzatildi, bu esa ortiqcha issiqlik ta'sirida pigmentning qisman degradatsiyasiga olib kelishi mumkinligini ko'rsatadi. Shuningdek, tadqiqot pigment hosil bo'lish kinetikasini tushunishga yordam berdi va sulfat kislota muhitida mis ftalotsianinning kimyoviy o'zgarishlarini aniqlash imkonini berdi. Ushbu natijalar sanoat miqyosida pigment ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish uchun asos bo'lishi mumkin. Kelgusida boshqa erituvchilar va katalizatorlar ta'sirini o'rganish orqali

jarayon samaradorligini oshirish bo‘yicha qo‘shimcha tadqiqotlar olib borish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Ijaz I. et al. Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles //Green chemistry letters and reviews. – 2020. – T. 13. – №. 3. – S. 223-245.
2. Deng D. et al. Role of “post-coordination interaction” boosted performance of rare-earth based MOFs derived catalyst for hydrogenation-alkylation cascade reaction //Molecular Catalysis. – 2025. – T. 572. – S. 114735.
3. Fu R. et al. Recent advance in metal-organic frameworks based catalysts for production of fine chemicals via thermal catalysis //Molecular Catalysis. – 2025. – T. 573. – S. 114811.
4. Bilgin A., Yağcı Ç., Mendi A., Yıldız U, Synthesis and Characterization of New Polymeric Phthalocyanines Substituted with Diaza-18-crown-6 macrocycles through Ethyleneoxy Bridges, Polyhedron, 2007, 26, 617-625.
5. Derradji M. et al. Mechanical and thermal properties of phthalonitrile resin reinforced with silicon carbide particles //Materials & Design. – 2015. – T. 71. – S. 48-55.
6. Dzhardimalieva G. I., Uflyand I. E. Design strategies of metal complexes based on chelating polymer ligands and their application in nanomaterials science //Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials. – 2018. – T. 28. – S. 1305-1393.
7. Meng Z. et al. Electrically-transduced chemical sensors based on two-dimensional nanomaterials //Chemical reviews. – 2019. – T. 119. – №. 1. – S. 478-598.
8. Daliran S. et al. Metal–organic framework (MOF)-, covalent-organic framework (COF)-, and porous-organic polymers (POP)-catalyzed selective C–H bond activation and functionalization reactions //Chemical Society Reviews. – 2022. – T. 51. – №. 18. – S. 7810-7882.
9. Nie Z. et al. Two-dimensional FePc and MnPc monolayers as promising materials for SF6 decomposition gases detection: Insights from DFT calculations //Applied Surface Science. – 2023. – T. 608. – S. 155119.
10. Bisoyi H. K., Li Q. Liquid crystals: versatile self-organized smart soft materials //Chemical reviews. – 2021. – T. 122. – №. 5. – S. 4887-4926.
11. Muñoz-García A. B. et al. De-sensitized solar cells strike back //Chemical Society Reviews. – 2021. – T. 50. – №. 22. – S. 12450-12550.