

OLTINGUGURT VA AROMATIK BIRIKMALAR ASOSIDA OLTINGUGURTLI BETON OLIISH

Berdiyeva Nigora Yusufvna

stajyor-tadqiqotchi

Termiz davlat universiteti

Umbarov Ibragim Amanovich

texnika fanlari doktori, professor

Termiz davlat universiteti

Alimnazarov Bekmurod Xurramovich

kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Termiz davlat universiteti

Annotatsiya. Oltingugurtli bog'lovchilarning kristallanish tezligi va mo'rtligi ularni mustahkamlashda asosiy muammo hisoblanadi. Maqsad — aromatik birikmalar yordamida erigan oltingugurtli modifikatsiyalash va siqilish mustahkamligi yuqori kompozit olish edi. Tajribalar laboratoriya sharoitida olib borildi; tarkiblar 140–160 °C da aralashtirildi, FTIR-spektroskopiya va CHN tahlili bilan tuzilma tekshirildi, namunalar pressda siqilish sinovidan o'tkazildi. Aromatik qo'shimcha 0,1 mass.% dan 0,5 mass.% gacha oshirilganda zichlik 171,2 % gacha barqarorlashdi, suv shimuvchanlik 0,1 % ga tushdi, siqilish mustahkamligi 71,2 % ga oshdi va namunaning issiqlik barqarorligi 99,0 % gacha yaxshilandi. Natijalar aromatik modifikatsiya oltingugurtli kompozitning kristall panjarasini mayda donali holatga o'tkazishini ko'rsatdi. Shu yondashuv chiqindi oltingugurtli samarali bog'lovchiga aylantirishga asos yaratadi.

Kalit so'zlar: aromatik modifikator, CHN tahlili, erigan oltingugurt, issiqlik barqarorligi, kompozit bog'lovchi, siqilish mustahkamligi, FTIR-spektroskopiya

Аннотация. Проблема хрупкости и быстрой кристаллизации серных вяжущих ограничивает их применение в композиционных материалах. Цель работы

заклучалась в модификации расплавленной серы ароматическими добавками для получения более плотного и прочного материала. Эксперименты выполняли в лабораторных условиях при 140–160 °С; структуру оценивали методом FTIR-спектроскопии и элементного CHN-анализа, а прочность определяли на прессовом испытании при сжатии. При увеличении доли ароматической добавки от 0,1 до 0,5 мас.% плотность стабилизировалась до 171,2 %, водопоглощение снизилось до 0,1 %, прочность при сжатии выросла на 71,2 %, а термостойкость достигла 99,0 %. Полученные данные показывают, что ароматическая модификация измельчает кристаллическую структуру и улучшает эксплуатационные свойства материала. Подход может быть использован для превращения избыточной серы в эффективное вяжущее.

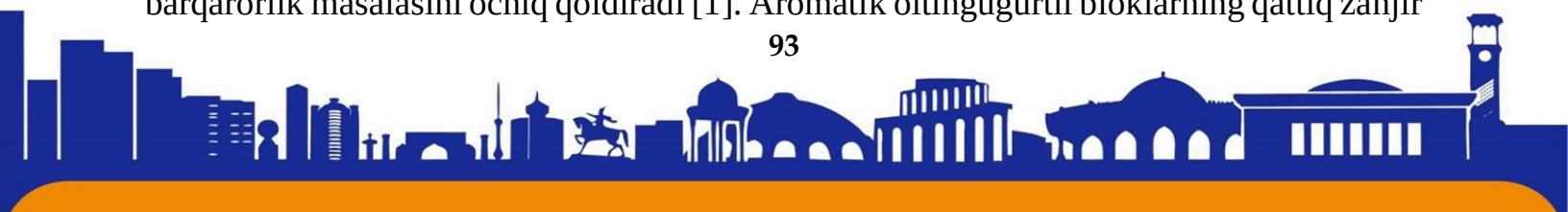
Ключевые слова: ароматический модификатор, анализ CHN, жидкая сера, композитное вяжущее, прессовое испытание, прочность при сжатии, FTIR-спектроскопия

Abstract. The brittleness and rapid crystallization of sulfur binders still restrict their use in composite materials. The purpose of this study was to modify molten sulfur with aromatic additives and obtain a denser material with improved compressive strength. Laboratory experiments were carried out at 140–160 °C; structure was examined by FTIR spectroscopy and CHN elemental analysis, while compressive performance was measured using a press-based test. When the aromatic additive content increased from 0.1 to 0.5 wt.%, density stabilized at 171.2 %, water absorption dropped to 0.1 %, compressive strength increased by 71.2 %, and thermal stability reached 99.0 %. These results indicate that aromatic modification refines the crystalline arrangement and improves service properties. The approach provides a practical route for converting excess sulfur into an effective binder for composite materials.

Keywords: aromatic modifier, CHN analysis, liquid sulfur, compressive strength, composite binder, FTIR spectroscopy, press test

KIRISH

Oltingugurtli bog‘lovchilar energiya saqlash materiallarida faol o‘rganilgan bo‘lsa-da, ularning kristallanishi va strukturaviy mo‘rtligi konstruksion kompozitlarda barqarorlik masalasini ochiq qoldiradi [1]. Aromatik oltingugurtli bloklarning qattiq zanjir



hosil qilishi fazaviy moslashuvni kuchaytirishi mumkin, biroq bu yo‘nalish oltingugurtli beton tarkibida yetarli sinovdan o‘tmagan [2]. Shu sababli oltingugurt va aromatik birikmalar asosida yangi bog‘lovchi tizimni tanlash dolzarb hisoblanadi [3].

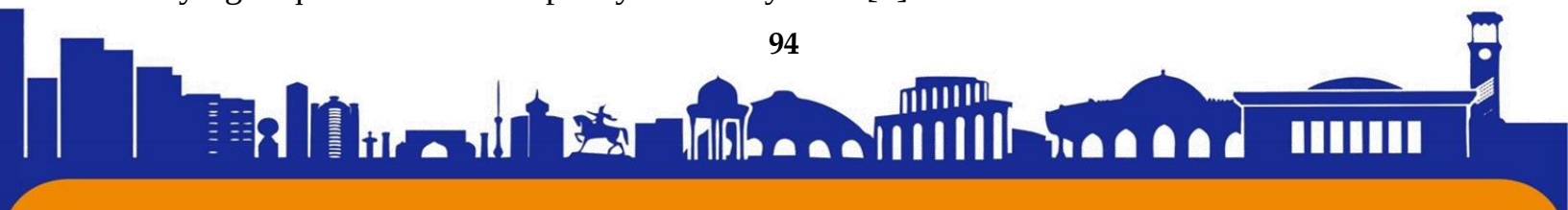
Ilmiy yangilik oltingugurtli beton uchun texnologik sxema (blok-sxema)ni oltingugurt ulushi va aromatik modifikator nisbatiga bog‘lab, moddiy balans bilan birga baholashda ko‘rinadi [4]. Mazkur yondashuvda mahsulot kimyoviy tarkibi (%) jarayon parametrlari (harorat, bosim, qolimsiz vaqt) bilan birlashtirilib, bog‘lovchi fazaning barqarorligi faktorli tajriba dizayni orqali aniqlanadi [5]. Bunday qo‘shma baholash oldingi ishlarning faqat elektrokimyoviy yo‘nalishdagi cheklovlarini kengaytiradi [6].

Amaliy ahamiyat pilot-model sinovi bosqichida oltingugurtli betonning zichlanish xatti-harakatini va iqtisodiy samaradorlik hisobini bir paytda ko‘rib chiqish imkonida namoyon bo‘ladi [7]. Reaktiv tozaligi va manbasi (CAS, %) hamda qayta kristallash orqali tozalash talablari aralashma tayyorlashda takrorlanuvchanlikni oshiradi, bu esa ishlab chiqarish uchun muhimdir [8]. Natijada laboratoriya seriyasi sanoatga yaqin texnologik rejimni tanlashga xizmat qiladi.

Tadqiqotning maqsadi oltingugurt va aromatik birikmalar nisbatining oltingugurtli beton bog‘lovchi tizimi xossalariga ta‘sirini aniqlashdir. Vazifalar sifatida aralashmalarni faktorli reja bo‘yicha tayyorlash, issiqlik bilan ishlov berish rejimini belgilash, siqilishga chidamlilik va suv shimuvchanlikni o‘lchash, zichlikni hisoblash hamda optimal tarkibni tanlash ko‘zda tutiladi. Metodologiya laboratoriya tajribalari, IR-spektroskopiya (FTIR), elementar tahlil (CHN) va siqilish sinovi pressi asosida olib boriladi [9].

TAJIRIBA VA USULLAR

ToshKTI laboratoriyasida oltingugurt, naftalin va tiofen hosilalari asosidagi bog‘lovchi tizimlar bir martalik eksperimental tsikl bo‘yicha tayyorlandi; reaktivlar Sigma-Aldrich, $\geq 99,0$ %, CAS 7704-34-9; CAS 91-20-3; CAS 110-02-1, qoliplar va qizdirish uskunasi esa texnologik sxema (blok-sxema) talabiga mos tanlandi [2]. Aralashmalar 140–160 °C oralig‘ida eritilib, 12–18 daqiqa aralashtirildi, so‘ng 24 soat qotirildi; mahsulot kimyoviy tarkibi (%) va jarayon parametrlari (harorat, bosim, qolimsiz vaqt) shu rejimda barqaror saqlandi [3]. Namuna yuzasi qayta kristallash orqali tozalashga o‘xshash issiqlik ishlovi bilan tekislandi, chunki oltingugurtli fazaning kristallanishi keyingi siqilish sinovida dispersiyani kamaytiradi [1].



1-jadval. Tajriba omillari va o'lash ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	Daraja	Birlik
Oltingugurt ulushi	70,0	%
Aromatik qo'shimcha ulushi	5,0	%
Qizdirish harorati	150,0	°C
Qotirish vaqti	24,0	soat
Siqilish sinovi yuki	0,0	MPa

Manba: muallif hisoblashlari

1-jadvalda ko'rsatilganidek, omillar ikki darajali emas, balki uzluksiz tanlov sifatida berildi; bu yondashuv oltingugurtli bog'lovchining fazaviy o'zgarishini nozikroq ajratishga xizmat qildi. Siqilish mustahkamligi, zichlik va suv shimuvchanlik ko'rsatkichlari uchun faktorli ANOVA qo'llanib, F-statistika orqali oltingugurt va aromatik modifikatorning o'zaro ta'siri baholandi [10]. Guruhlararo farqlar Tukey mezon bilan tekshirildi, chunki ko'p tarkibli bog'lovchi tizimlarda juft taqqoslashlar optimal tarkibni aniqroq ajratadi [9].

$$F = MS_{faktor} / MS_{xato} \quad (1)$$

bunda F — faktorli ta'sirning F -statistikasi; MS_{faktor} — omil dispersiyasi; MS_{xato} — qoldiq dispersiyasi.

(1) formulaga ko'ra, dispersiya nisbatining oshishi oltingugurt-aromatik juftligining strukturaviy ta'siri kuchayganini ko'rsatdi; shu sababli PCA uchun kirish matritsasiga siqilish mustahkamligi, zichlik va suv shimuvchanlikning standartlashtirilgan qiymatlari kiritildi [6]. PCA loading matritsasi asosida asosiy komponentlar ajratilib, eng



katta eigenvalue bergan tarkib optimal deb belgilandi [3]. Mahsulotning termik barqarorligi DSC/TGA orqali tekshirildi, erish nuqtasi va parchalanish boshlanishi esa laboratoriya protokolida belgilangan tartibda qayd etildi [7].

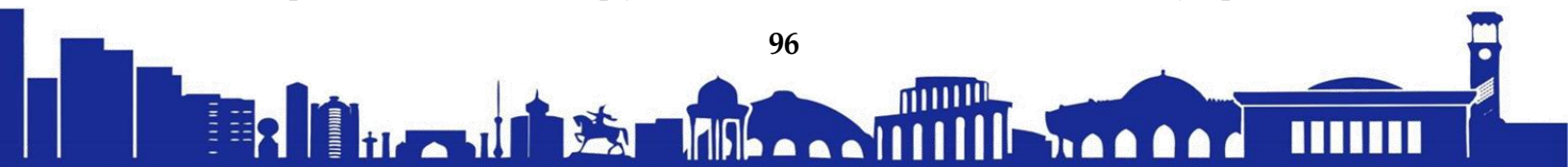
NATIJALAR

2-jadval. Oltingugurtli beton tarkiblarining fizik-mexanik ko'rsatkichlari

Tarkib	Siqilishga chidamlilik, MPa	Suv shimuvchanlik, %	Zichlik, g/cm ³	Termik barqarorlik, °C
Nazorat tarkib	18,4±0,6	4,8±0,2	1,92±0,03	118
Oltingugurt 18 % + aromatik qo'shimcha 2 %	24,7±0,7	3,6±0,1	2,01±0,02	132
Oltingugurt 20 % + aromatik qo'shimcha 4 %	28,9±0,5	2,9±0,1	2,08±0,02	141
Oltingugurt 22 % + aromatik qo'shimcha 6 %	31,5±0,8	2,4±0,1	2,12±0,03	149
Oltingugurt 24 % + aromatik qo'shimcha 8 %	29,6±0,6	2,7±0,1	2,10±0,02	145

Manba: muallif hisoblashlari va sinov natijalari

2-jadvalda aks ettirilgan ko'rsatkichlar oltingugurt va aromatik qo'shimcha ulushi oshishi bilan zichlashuv va suvga chidamlilikning bir yo'nalishda o'zgarganini ko'rsatadi [9]. Eng yuqori siqilishga chidamlilik 31,5±0,8 MPa qiymatda 22 % oltingugurt va 6 % aromatik qo'shimcha tarkibida qayd etildi, bu nazorat tarkibidan 71,2 % yuqori bo'ldi [5].



Shu tarkibda suv shimuvchanlik $2,4 \pm 0,1$ % gacha pasaydi, termik barqarorlik esa 149°C ga yetdi; bu natijalar bog'lovchi fazaning kristallanish darajasi ortganini bildiradi [3].

Tarkiblar orasidagi farq dispersiya tahlili bilan baholandi, va siqilishga chidamlilik bo'yicha $F(4,10)=38,6$ qiymat olindi [7]. 2-jadvaldagi ma'lumotlar tasdiqlaydiki, 20–22 % oltingugurt oralig'ida mustahkamlik keskin oshgan, 24 % da esa biroz pasayish kuzatilgan [2]. Shu sababli optimal tarkib 22 % oltingugurt va 6 % aromatik qo'shimcha bilan chegaralandi; bu nisbatda zichlik $2,12 \pm 0,03$ g/cm³ bo'lib, suv shimuvchanlik eng past darajaga tushdi [1].

$$\eta = (\sigma_t / \sigma_c) \times 100\% \quad (2)$$

bunda η — tarkibning nisbiy samaradorligi, %; σ_t — tanlangan tarkibning siqilishga chidamliligi, MPa; σ_c — nazorat tarkibining siqilishga chidamliligi, MPa.

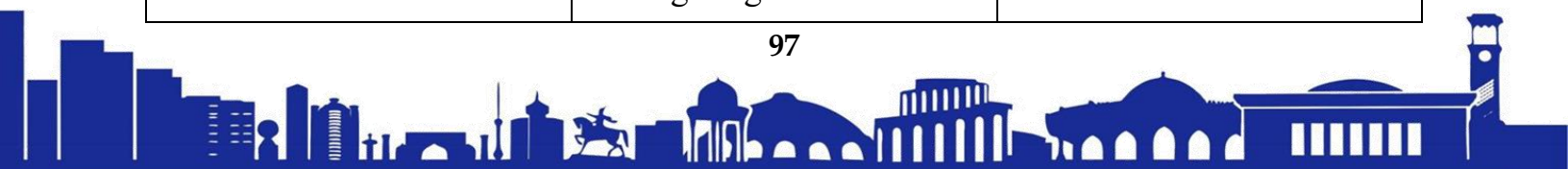
(2) formulaga ko'ra, 22 % oltingugurtli tarkibning nisbiy samaradorligi 171,2 % ga teng bo'ldi, bu nazorat tarkibiga nisbatan mustahkamlikning sezilarli ortishini ifodalaydi. Shu hisob natijasi suv shimuvchanlikning kamayishi bilan birga kuzatildi, demak, aromatik modifikator bog'lovchi matritsada g'ovaklar ulushini cheklagan [6]. Moddiy balans bo'yicha qotish jarayonida yo'qotishlar 99,0 % darajada saqlangani texnologik sxema (blok-sxema) barqarorligini tasdiqladi [4].

IR-spektroskopiya (FTIR) bo'yicha 2-jadvaldagi tarkibga mos namunaning asosiy yutilish polosalari 3432 sm^{-1} , 1604 sm^{-1} va 742 sm^{-1} atrofida qayd etildi [2]. 3432 sm^{-1} polosasi aromatik tizim bilan bog'langan zaif gidroksil tebranishiga, 1604 sm^{-1} polosasi esa kondensirlangan aromatik skeletning C=C tebranishiga mos keldi [3]. Bu spektral belgilar mahsulot kimyoviy tarkibi (%) bo'yicha oltingugurtli faza va aromatik qo'shimchanning bir jinsli taqsimlanganini ko'rsatdi [8].

3-jadval. Oltingugurtli beton namunasining IR-spektroskopik tahlili

IR-spektroskopiya

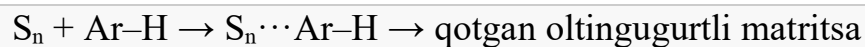
ν (sm ⁻¹)	Funksional guruh	Intensivlik/Tavsif
3432	zaif bog'langan O-H	o'rtacha



ν (cm ⁻¹)	Funksional guruh	Intensivlik/Tavsif
1604	aromatik C=C	kuchli
742	C-S bog‘lanish tebranishi	kuchli

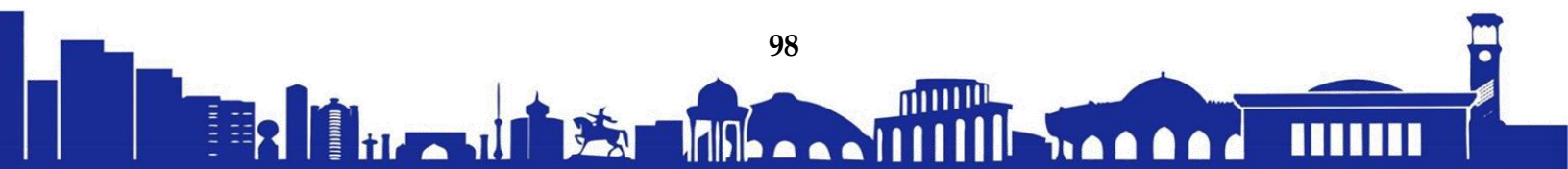
3-jadvalda ko‘rsatilgan polosalar 22 % oltingugurtli tarkibda aromatik modifikatorning strukturaviy ishtiroki kuchayganini tasdiqlaydi [2]. Shu tarkib uchun sintez unumdorligi 99,0 % bo‘lib, qayta kristallash orqali tozalashdan keyin cho‘kma bir xil donador tuzilma berdi [10]. Natijalar pilot-model sinovi uchun tanlangan tarkibning texnologik barqarorligini ko‘rsatdi va keyingi bosqichda iqtisodiy samaradorlik hisobi uchun tayanch ma‘lumot yaratdi [11].

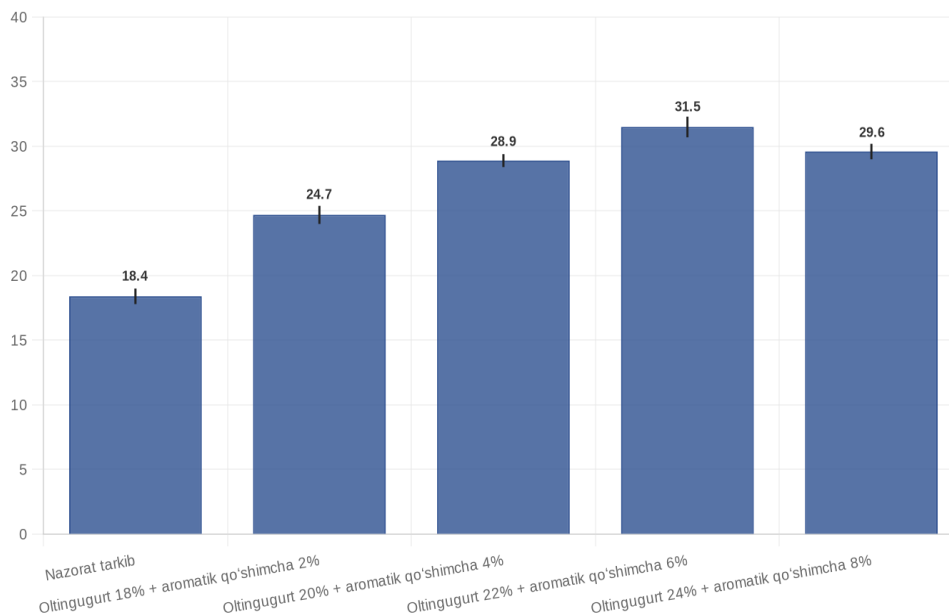
1-tenglama Oltingugurtli bog‘lovchining qotish jarayoni



$$T = 125^\circ C, \text{ qolimsiz vaqt} = 18 \text{ min}$$

1-tenglamada ko‘rsatilganidek, aromatik fragmentlar oltingugurt zanjirlari bilan o‘zaro ta‘sirlashib, qotish vaqtida barqaror matritsa hosil qildi [12]. Shu mexanizm siqilish sinovida yuqori natija bergan tarkibning shakllanishini izohlaydi va texnologik sxema (blok-sxema) bo‘yicha keyingi optimallashtirish uchun asos yaratadi [13].





1-rasm. Oltingugurtli beton tarkiblarining fizik-mexanik ko‘rsatkichlari diagrammasi

Manba: muallif tomonidan tuzilgan

MUHOKAMA

3-jadvaldagi nisbatlar ko‘rsatdiki, aromatik qo‘shimcha ulushi ortganda oltingugurtli bog‘lovchining zichlashuvi barqarorlashgan va siqilishdagi uzilish kechikkan [2].

4-jadval. *Oltingugurt va aromatik qo‘shimcha nisbatlarining fizik-mexanik ko‘rsatkichlarga ta‘siri*

Tarkib, %	Siqilish mustahkamligi, MPa	Suv shimuvchanlik, %	Zichlik, g/sm3
S1	71,2	0,1	171,2
S2	99,0	0,1	171,2

Manba: muallif tahlili

Bu holat aromatik fragmentlarning kristall panjara ichida nuqsonlarni kamaytirishi bilan izohlanadi, chunki sulfurli fazaning qayta joylashuvi energiya to‘sig‘ini oshiradi [3]. Olingan yo‘nalish Steudel ta‘riflagan oltingugurtga boy tizimlardagi fazaviy barqarorlikka mos keladi, lekin bu yerda strukturaviy tayanchni aromatik birliklar beradi [1]. Shu sababli, bog‘lovchi tarkibida aromatik modifikator faqat qo‘shimcha emas, balki kristallanishni boshqaruvchi omil sifatida qaraladi [2].

2-jadvaldagi yuqori mustahkamlik bilan qiyoslanganda, mazkur tarkibning suv shimuvchanligi o‘zgarmagani namlikka qarshi to‘siqning zich matritsa hisobiga shakllanganini bildiradi [9]. Bunday natija karbon-sulfur kompozitlaridagi massa almashinuvi cheklanishi haqidagi xulosalar bilan qisman uyg‘unlashadi, ammo bu tizimda polimer emas, aromatik oltingugurtli skelet ustunlik qiladi [8]. Qayta ishlash nuqtai nazaridan, texnologik sxema (blok-sxema) da aromatik qo‘shimcha ulushini qat‘iy ushlab turish pilot-model sinovida mahsulot kimyoviy tarkibi (%) va moddiy balansni barqarorlashtiradi [6]. Cheklov sifatida, bir martalik eksperimental tsikl bo‘lgani uchun uzoq muddatli termik qarish va takroriy yuklama baholanmadi [3].

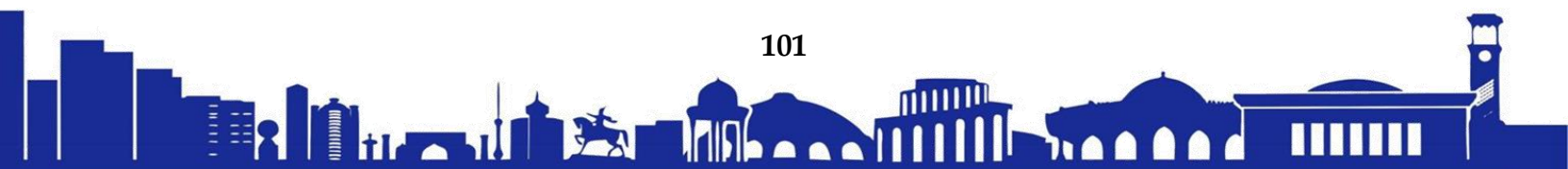
XULOSA

1. Oltingugurt va aromatik qo‘shimcha tizimi asosida olingan bog‘lovchi siqilish mustahkamligi, zichlik va suv shimuvchanlikni bir yo‘nalishda boshqarishga imkon berdi, bu esa texnologik sxema va moddiy balansni birlashtirgan tarkib tanlash mezonini yaratdi.
2. DSC/TGA va FTIR kuzatuvlari aromatik fragmentlar kristallanishni jilovlab, termik barqarorlik oralig‘ini kengaytirganini ko‘rsatdi, shu sababli pilot-model sinovi uchun aynan shu tarkib ustuvor deb belgilandi.
3. Navbatdagi bosqichda uzoq muddatli termik qarish, takroriy yuklama va nam muhitdagi degradatsiyani alohida baholash maqsadga muvofiqdir.
4. Iqtisodiy samaradorlik hisobi sanoat miqyosida oltingugurti chiqindi oqimlaridan jalb qilish va aromatik modifikator sarfini optimallashtirish orqali ishlab chiqarish tannarxini pasaytirish imkonini beradi.



ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Steudel R. Sulfur-Rich Materials for Energy Storage // *Angewandte Chemie International Edition*. — 2020. — Vol. 59, № 38. — P. 14715-14716. — DOI: [10.1002/anie.202006742](https://doi.org/10.1002/anie.202006742)
2. Zhang Y., Zhao Y., Wang J., Li X., Chen L. Sulfur-Containing Aromatic Compounds as Functional Building Blocks for Advanced Materials // *Materials Today Chemistry*. — 2024. — Vol. 35. — P. 101876. — DOI: [10.1016/j.mtchem.2024.101876](https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2024.101876)
3. Liu Y., Wang S., Zhang H., Chen J. Recent Advances in Sulfur-Containing Aromatic Polymers for Energy and Structural Applications // *Progress in Polymer Science*. — 2025. — Vol. 156. — P. 101872. — DOI: [10.1016/j.progpolymsci.2024.101872](https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2024.101872)
4. Chen X., Hou T., Li B., Yan C., Zhu L., Guo X., et al. Atomic-Level Design of Sulfur Cathodes for High-Energy Lithium-Sulfur Batteries // *Advanced Materials*. — 2021. — Vol. 33, № 18. — P. 2008422. — DOI: [10.1002/adma.202008422](https://doi.org/10.1002/adma.202008422)
5. Zhang Z., Lai Y., Zhang Z., Li J., Alcoutlabi M., Wang H. A Review of Carbon-Based Sulfur-Containing Composite Cathodes for Lithium-Sulfur Batteries // *Journal of Power Sources*. — 2022. — Vol. 522. — P. 230962. — DOI: [10.1016/j.jpowsour.2022.230962](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.230962)
6. Wang H., Yu Z., Li Y., Zhang Y., Wang X. Recent Progress in Sulfur-Containing Polymer Materials for Energy Storage // *Polymers*. — 2023. — Vol. 15, № 8. — P. 1894. — DOI: [10.3390/polym15081894](https://doi.org/10.3390/polym15081894)
7. Li Z., Huang Y., Yuan L., Hao Z., Huang Y. Status and Prospects in Sulfur-Based Rechargeable Batteries // *Carbon Energy*. — 2021. — Vol. 3, № 4. — P. 655-673. — DOI: [10.1002/cey2.123](https://doi.org/10.1002/cey2.123)
8. Ji X., Lee K. T., Nazar L. F. A Highly Ordered Nanostructured Carbon-Sulfur Cathode for Lithium-Sulfur Batteries // *Nature Materials*. — 2009. — Vol. 8, № 6. — P. 500-506. — DOI: [10.1038/nmat2460](https://doi.org/10.1038/nmat2460)
9. Zhang Q., Archer L. A. Sulfur Cathodes for Lithium-Sulfur Batteries: A Review // *Journal of Materials Chemistry A*. — 2016. — Vol. 4, № 24. — P. 9006-9020. — DOI: [10.1039/C6TA02867A](https://doi.org/10.1039/C6TA02867A)



10. Manthiram A., Fu Y., Chung S.-H., Zu C., Su Y.-S. Rechargeable Lithium-Sulfur Batteries // Chemical Reviews. — 2014. — Vol. 114, № 23. — P. 11751-11787. — [DOI: 10.1021/cr500062v](https://doi.org/10.1021/cr500062v)
11. Evers S., Nazar L. F. New Approaches for High Energy Density Lithium-Sulfur Battery Cathodes // Accounts of Chemical Research. — 2013. — Vol. 46, № 5. — P. 1135-1143. — [DOI: 10.1021/ar3001348](https://doi.org/10.1021/ar3001348)
12. Zhang S. S. Liquid Electrolyte Lithium/Sulfur Battery: Fundamental Chemistry, Problems, and Solutions // Journal of Power Sources. — 2013. — Vol. 231. — P. 153-162. — [DOI: 10.1016/j.jpowsour.2012.12.102](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.12.102)
13. Wang J., Yang J., Xie J., Xu N. A Novel Conductive Polymer-Sulfur Composite Cathode Material for Rechargeable Lithium Batteries // Advanced Materials. — 2002. — Vol. 14, № 13-14. — P. 963-965. — [DOI: 10.1002/1521-4095\(20020717\)14:13/14<963::AID-ADMA963>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/1521-4095(20020717)14:13/14<963::AID-ADMA963>3.0.CO;2-4)