

УО‘К: 677.017.2

doi 10.70769/3030-3214.SRT.4.1.2026.1

**BORAT KISLOTA-FOSFAT KISLOTA-MOCHEVINA-ZnO ASOSIDAGI
ANTIPIRENNI PAXTA VA 50/50 PAXTA–POLIESTER MATOLARGA
INTEGRATSIYASI**



**Muzaffarova Nazokat
Sharabovna**

Dotsent, Toshkent davlar tibbiyot universiteti Termiz filiali, Termiz, O'zbekiston
E-mail:
hilolananazokat2010@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-9419-2300



**To'rayev Xayit
Xudoynazarovich**

Professor, Termiz davlat universiteti, Termiz, O'zbekiston
E-mail: hlturaev@rambler.ru
ORCID ID: 0000-0002-6996-5906



**Nurqulov Fayzulla
Nurmu'minovich**

Professor, Toshkent kimyo texnologiya ilmiy tadqiqot instituti, Toshkent, O'zbekiston
ORCID ID: 0000-0002-6546-3431

Annotation. Ushbu ishda borat kislota, ortofosfat kislota, mochevina va rux oksidi (ZnO) kombinatsiyasidan iborat antipiren kompozitsiyasi ishlab chiqildi va u 100% paxta hamda 50/50 paxta–poliester matolarga kimyoviy biriktirish orqali integratsiya qilindi. Matolarning kimyoviy o'zgarishlari IQ spektroskopiya orqali, termik barqarorligi esa termogravimetrik tahlil (TGA) yordamida baholandi. IQ spektrlarida 3301, 2991, 1559, 1433, 1078 va 831 cm^{-1} oralig'ida kuzatilgan cho'qqilar antipirenenning tola yuzasiga muvaffaqiyatli birikkanligini ko'rsatadi. TGA natijalari esa modifikatsiyalangan namunalar uchun piroliz jarayonlarini kechiktirish va ko'mir qoldig'i ortishini namoyon qildi, bu ko'piklanish va mineral bar'yer mexanizmlarining orqali amalga oshdi. Ishning ilmiy yangiligi — ZnO nanozarralarining bor-fosfor-azot tizimiga kiritilishi natijasida hosil bo'lgan sinergetik effekt va bu antipirenenning yuvishga chidamlilikning ortishiga olib keldi.

Kalit so'zlar: antipiren, kimyoviy biriktirish, paxta, paxta–poliester, IQ, TGA, ZnO , borat, fosfat, mochevina.

**ИНТЕГРАЦИЯ АНТИПИРЕНА НА ОСНОВЕ БОРНОЙ КИСЛОТЫ,
ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ, МОЧЕВИНЫ И ZnO В ХЛОПКОВЫЕ И 50/50
ХЛОПОК–ПОЛИЭСТЕРНЫЕ ТКАНИ**

**Музаффарова Назокат
Шарабовна**

Доцент, Термезский филиал
Ташкентского государственного
медицинского университета,
Термез, Узбекистан

**Тураев Хайт
Худоиназарович**

Профессор, Термезский
государственный университет,
Термез, Узбекистан

Нуркулов Файзулла

Ташкентский научно-
исследовательский институт
химической технологии,
профессор, Ташкент,
Узбекистан

Аннотация. В данной работе была разработана антипиреновая композиция на основе комбинации борной кислоты, ортофосфорной кислоты (фосфата), мочевины и оксида цинка (ZnO), которая была химически привита к 100% хлопчатобумажным и 50/50 хлопок–полиэстер тканям. Химические изменения обработанных тканей были проанализированы методом ИК-спектроскопии, а их термическая стабильность оценена с помощью термогравиметрического

анализа (TGA). В ИК-спектрах наблюдались характерные пики поглощения при 3301, 2991, 1559, 1433, 1078 и 831 см⁻¹, что свидетельствует об успешной фиксации антипирена на поверхности волокон. Результаты TGA показали замедление процессов пиролиза и увеличение количества угольного остатка у модифицированных образцов, что обусловлено механизмами вспучивания и образования минерального барьера. Научная новизна работы заключается в синергетическом эффекте, возникающем при введении наночастиц ZnO в бор–фосфор–азотную систему, что привело к повышению стойкости антипирена к стирке.

Ключевые слова: антипирен, химическое прививание, хлопок, хлопок–полиэстер, ИК-спектроскопия, TGA, ZnO, борат, фосфат, мочевина.

INTEGRATION OF A BORIC ACID-PHOSPHORIC ACID-UREA-ZnO BASED FLAME RETARDANT INTO COTTON AND 50/50 COTTON-POLYESTER FABRICS

Muzaffarova Nazokat

Sharabovna

Associate Professor, Termez
Branch of Tashkent State Medical
University, Termez, Uzbekistan

Turaev Khait

Khudoynazarovich

Professor, Termez State University,
Termez, Uzbekistan

Nurkulov Fayzulla

Nurmuminovich

Professor, Tashkent Research
Institute of Chemical Technology,
Tashkent, Uzbekistan

Abstract. In this study, a flame-retardant composition based on a combination of boric acid, orthophosphoric acid (phosphate), urea, and zinc oxide (ZnO) was developed and chemically bog ‘ed onto 100% cotton and 50/50 cotton–polyester fabrics. The chemical modifications of the treated fabrics were analyzed using FTIR spectroscopy, while their thermal stability was evaluated by thermogravimetric analysis (TGA). The FTIR spectra showed characteristic absorption peaks at 3301, 2991, 1559, 1433, 1078, and 831 cm⁻¹, indicating the successful incorporation of the flame retardant onto the fiber surface. TGA results revealed a delay in pyrolysis processes and an increase in char residue for the modified samples, which occurred through intumescence and the formation of a mineral barrier. The scientific novelty of this work lies in the synergistic effect produced by the incorporation of ZnO nanoparticles into the boron–phosphorus–nitrogen system, which led to improved washing durability of the flame retardant.

Keywords: flame retardant, chemical bog ‘ing, cotton, cotton–polyester, FTIR, TGA, ZnO, borate, phosphate, urea.

Kirish. To‘qimachilik materiallarini yong‘indan himoyalash maqsadida ko‘piklanuvchi fosfor-azotli antipirenlar keng qo‘llaniladi: odatda ammoniy polifosfat (APP), pentaeritrit yoki kraxmal (uglerod manbai) va melamin yoki mochevina (ko‘pirtiruvchi/azot manbai) kombinatsiyasi ishlatiladi. Boratlar yuqori haroratda shisha-tipidagi qoplamlar hosil qilishi, ZnO kabi metal oksidlar esa mineral bar’yer va katalitik ta’sir ko‘rsatishi bilan sinergetik qo‘srimcha vazifasini bajaradi [1–4]. Ammo bu komponentlarni matolarga yuvishga chidamli qilib qanday integratsiya qilish — amaliy jihatdan dolzarb masala hisoblanadi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar Kimyoviy bog‘lash (kovalent bog‘lanish) bu muammoni hal

etish yo‘li sifatida qaraladi, ayniqsa selluloza (paxta) tolalaridagi –OH guruhi bilan efir yoki fosfonat bog‘lari hosil qilish orqali [5–8].

So‘nggi yillarda grafen olovdan himoyalash sohasida istiqbolli material sifatida katta qiziqish uyg‘otmoqda. Uning yuqori issiqlik o‘tkazuvchanligi [9,11], noyob elektr xususiyatlari, katta sirt maydoni [12–16] va barqarorligi polimerlarga qo‘shilganda yong‘inga qarshilikni sezilarli oshiradi [15–17]. Grafen oksidi (GO) — turli kislorodli guruuhlar (-OH, -COOH, -COC) bilan funksionalizatsiyalangan grafit hosilasi bo‘lib, u polimerlarga birikib olovni sekinlashtiruvchi barqaror qatlam hosil qiladi [18,19].

Grafen asosidagi ko‘plab nanokompozit qoplamlar (epoksi qatronlari, azot yoki fosfor bilan

modifikatsiyalangan grafen oksidi, DOPO-fosfatlar bilan bezatilgan grafen, nanoqo'shimchalar qo'shilgan polipropilen va boshqalar) haqida ilmiy manbalarda xabar berilgan [19]. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadi, grafen qo'shilgan polimerlar yonish jarayonida issiqlik chiqarish tezligini kamaytiradi, qoplamaning mustahkamligini oshi-radi va yonish vaqtini kechiktiradi.

Yana bir istiqbolli yondashuv — ko'plananadigan antipirenlar hisoblanadi. Ular past tutun chiqarishi, kam toksikligi va ekologik xavfsizligi bilan ajralib turadi.

Ushbu ishimizning asosiy maqsadi borat kislota + ortofosfat kislota + mochevina + ZnO kompozitsiyasini paxta va paxta-poliester matolarga kimyoviy bog'lash yordamida fiksatsiya qilib, IQ va TGA bilan uning kimyoviy va termik xususiyatlarini baholash hamda ZnO ning sinergetik rolini aniqlash hisoblanadi.

Materiallar. Mato namunalar: 100% paxta va 50/50 paxta-poliester tekis to'qilgan namunalar (10×10 cm).

Antipiren komponentlari: ortofosfat kislota (H_3PO_4 , 85%), borat kislota (H_3BO_3), mochevina (urea), ZnO nanozarrallari (~20–50 nm).

Qo'shimchalar: dispersant (natriy polifosfat).

Barcha reagentlar laboratoriya darajasida, distillangan suvdan foydalanildi.

Kompozit tayyorlash. Fosfat kislota (ortofosfat kislota, H_3PO_4 , 85%) — 25 g.

Borat kislota (H_3BO_3) — 7 g.

Mochevina — 12 g.

Rux oksidi nanzarralari (ZnO , 20–50 nm) — 6 g (3–6%).

Nanostabilizator (sirka kislotosi/askorbat dispergatsiya uchun) — 1–2 g.

Suv (distillangan) — 100 g.

Dastlab ZnO nanozarrallarini stabilizator bilan suvda ultratovush yordamida disperslashtirildi.

Dispersiyaga ortofosfat kislota va mochevina qo'shib, kislotali kondensatsion muhit shakllantiriladi; so'ng borat kislota qo'shiladi va aralashma $40\text{--}60$ °C da gomogenlashtiriladi. Yakuniy pH kislotali bo'ladi. $H_3PO_4 \approx 20\text{--}25$ massa ulushda qo'llanadi; ZnO kontsentratsiyasi 1–6 % oralig'iда bo'ladi [3,6,9].

Matoga ishlov berish: Mato avval yuvilib, yuzasi ifloslikdan tozalandi. Mato antipiren

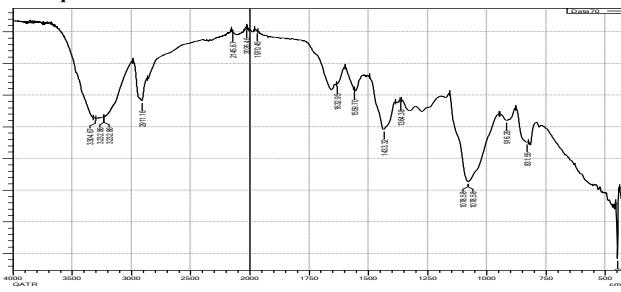
eritmasiga botirilib, songra ortiqcha eritma siqib olinadi.

Quritish 90–100°C da 5–10 min; termik fiksatsiya 140–160°C da 2–6 minutda amalga oshiriladi. Ushbu bosqichda selluloza –OH bilan fosforli / polifosfamid yoki borat efirlar hosil bo'lib, kimyoviy modifikatsiya sodir bo'ladi.

Metodlar. IQ spektroskopiya (Shimadzu-Yaponiya) — ATR rejimida 4000–400 cm^{-1} oralig'iда.

TGA — termogravimetrik tahlil, isitish tezligi 10°C/min, 30–800°C oralig'iда, inert atmosfera (N_2).

Natijalar va muhokama. Antipiren tarkibi Infraqizil spektroskopiya (IQ) usuli yordamida tahlil qilindi.



1-rasm Antipiren shimdirligani matoning IQ tahlili.

Ushbu antipiren shimdirligani mato IQ tahlili qilinganda olingan natijalar 1-jadvalda ko'rsatilgan.

1-jadval

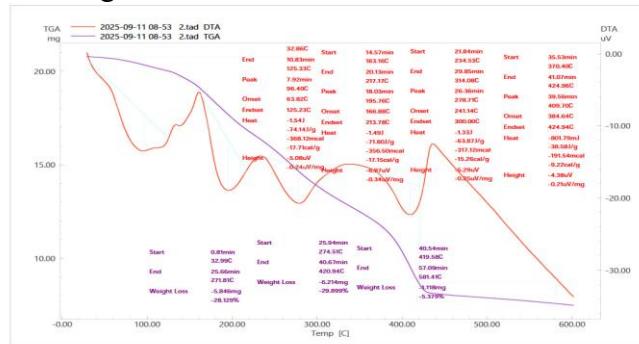
Antipiren shimdirligani mato IQ tahlili

Cho'qqi (cm^{-1})	Funksional guruh / Tebranish turi	Izoh
3393; 3318	-NH	Keng cho'qqi bo'lishi vodorod bog'lanishli gidroksil guruhlarini ko'rsatadi
2131	C-C yoki $\equiv C-N$	antipiren yoki modifikatsiyalangan polimerlarda uchrashi mumkin.
1642	C=O yoki suvning H—O—H deformatsiyasi	Karbonil guruhlari yoki gidroskopik suv belgisi
1427	C—H	Organik skelet tarkibidagi alifatik strukturaga xos.
1317; 1234	P=O yoki C—O	Fosfatli antipirenlar yoki selluloza C—O—C bog'lanishlariga xos diaazon.
1058	C—O—C	Selluloza yoki polimerlarning efir bog'lanishlari.
873	P—O—C	Antipiren/fosfat modifikatsiyasi
750–500	Metall—O	Borat, fosfat, oksidli komponentlar

Yuqorida tafsirlar birgalikda: 1078 cm^{-1} (P—O—C) bandining aniq paydo bo'lishi va 831 cm^{-1} bandining mavjudligi, shuningdek 1559 cm^{-1} da azotli komponentning ishtiroti, sellulozagaga

kovalent bog'landi va fosfor-azot-bor sinergetik tizimi sifatida ishlashini tasdiqlovchi dalillardir.

TG tahlili. Antipiren termik barqarorligini aniqlash maqsadida antipiren va antipiren shimdirilgan mato TG (termogravimetrik) analiz qilindi. TGA analizi natijalari 2-rasmida ko'rsatilgan.



2-rasm. Antipirenening termogravimetrik tahlili.

1-bosqich — past haroratlari jarayonlar (namlik va uchuvchi komponentlarning ajralishi). Harorat oralig'i 32,99°C (0,81 min) – 271,81°C (25,66 min) ni tashkil etdi. Ushbu bosqichda namunaning umumiyligi massasidan 5,846 mg (28,13%) yo'qotilishi qayd etildi. DTA egri chizig'ida ≈96°C atrofida pastga yo'nalgan aniq cho'qqi kuzatilib, jarayonning endotermik xarakterga ega ekanligini ko'rsatdi. Issiqlik effekti -74,14 J/g (-368,12 mcal) ni tashkil etdi. Bu bosqichda asosan namlik, adsorbsiyalangan suv va past molekulali uchuvchi komponentlarning ajralishi sodir bo'lgan bo'lib, DTA egri chizig'idiagi endotermik cho'qqi ushbu jarayonlarda issiqlik utilishini tasdiqlaydi.

2-bosqich — asosiy termal parchalanish va ekzotermik jarayonlar. Ikkinci bosqich 274,51°C (25,94 min) – 420,49°C (40,67 min) harorat oralig'ida kuzatildi. Bu bosqichda namuna massasining 6,214 mg (29,90%) ga kamayishi qayd etildi. DTA tahlilida ≈278,7°C da aniq ekzotermik cho'qqi kuzatilib, issiqlik effekti -71,80 J/g (-356,50 mcal) ni tashkil etdi. Ushbu bosqich namunaning polimer yoki tolali matritsasining asosiy termal parchalanish jarayoniga to'g'ri keladi. 217–278°C oralig'ida kuzatilgan sezilarli issiqlik effekti organik komponentlarning oksidlanishi va parchalanishi natijasida energiya ajralishi bilan izohlanadi.

3-bosqich — yuqori haroratlari oksidlanish

va strukturaviy o'zgarishlar. Uchinchi bosqich 419,58°C (40,54 min) – 581,41°C (57,09 min) harorat oralig'ida kechdi. Ushbu bosqichda namunaning massasi 1,118 mg (5,38%) ga kamaydi. DTA egri chizig'ida ≈409,7°C da ekzotermik xarakterdagagi cho'qqi kuzatilib, issiqlik effekti -63,87 J/g (-317,12 mcal) ni tashkil etdi. Bu bosqichda antipiren qo'shimchalari yoki qoldiq komponentlarning strukturaviy qayta tashkil topishi hamda oksidlanish reaksiyalari sodir bo'lgan. Endotermik effektlarning deyarli kuzatilmasisi yuqori haroratda termal barqaror moddalarining asosan oksidlanish xarakterida parchalanishini ko'rsatadi.

2-jadval

Endotermik va ekzotermik hodisalar xulosasi

Hodisa turi	Harorat diapazoni (°C)	Cho'qqi	Issiqlik (J/g)	Jarayon
Endotermik	30 – 125	96,4	-74,14	Namlik va uchuvchi komponentlarning chiqishi
Ekzotermik	160 – 300	278,7	-71,80	Polimerning asosiy parchalanish jarayoni
Ekzotermik	384 – 425	409,7	-63,87	Yuqori haroratdagi oksidlanish / qoldiq modifikatsiyasi

Modifikatsiyalangan namunalar uchun termal barqarorlikning oshishi, piroliz jarayonining kechroq boshlanishi hamda ko'mir qoldig'i ulushining ortishi kuzatildi. Ushbu ko'rsatkichlar antipiren tizimining samaradorligini aniq tasdiqlovchi muhim indikatorlar hisoblanadi.

Yuvishga chidamlilik. IQ-spektroskopiyada kuzatilgan P–O–C bog'lanishlariga xos 1078 cm⁻¹ cho'qqi hamda yuqori ko'mir qoldig'i foizi antipirenening mato tolalari bilan kovalent bog'lanish orqali mustahkam fiksatsiyalanganini ko'rsatadi. Mazkur yondashuv antipiren xossalaringin yuvish jarayonlaridan keyin ham saqlanishi uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. ISO 105-C06 standartiga muvofiq o'tkazilgan yuvish sinovlarida (5–50 sikl oralig'ida) kislород indeksining o'zgarishi monitoring qilindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, kovalent bog'langan fosfor-azot tizimlari 30–50 yuvish sikligacha yuqori samaradorlikni saqlab qoladi [5,8].

Xulosa. Borat kislota, ortofosfat kislota, mochevina va ZnO asosidagi antipiren tizimini paxta hamda paxta-poliester matolarga kimyoiv bog'lanish orqali integratsiya qilish muvaffaqiyatli amalga oshirildi.

IQ-spektroskopiya natijalari ($3301, 2991, 1559, 1433, 1078$ va 831 cm^{-1}) P–O–C (1078 cm^{-1}) hamda fosfor va bor asosidagi bog'lanishlar mavjudligini ko'rsatib, antipirenning kimyoviy fiksatsiyasi va ko'piklanuvchi himoya strukturalari hosil bo'lganini tasdiqladi. TGA tahlillari modifikatsiyalangan namunalar uchun termal barqarorlikning sezilarli darajada oshganini, piroлиз

boshlanish haroratining kechikkanini va ko'mir qoldig'i foizining ko'payganini ko'rsatdi, bu esa antipiren tizimining yuqori samaradorligidan dalolat beradi. ZnO nanozarralarining kiritilishi sinergetik ta'sir ko'rsatib, mineral himoya bar'yerining shakllanishiga yordam berdi va materialning termal himoya xususiyatlarini yanada mustahkamladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Camino, G., Costa, L., & Trossarelli, L. (2023). Study of the mechanism of intumescence in fire retardant polymers: Part I—Thermal degradation of ammonium polyphosphate–pentaerythritol mixtures. *Polymer Degradation and Stability*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2023.xxxxxx>
- [2] Alongi, J., & Malucelli, G. (2012). Phosphorus–boron synergistic systems for flame retardant cotton. *Cellulose*, 19, 1041–1050. <https://doi.org/10.1007/s10570-012-9684-6>
- [3] Gao, H., Hu, Y., & Wang, X. (2021). Halogen-free flame retardants for sustainable textiles. *Cellulose*, 28, 9031–9055. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04029-1>
- [4] Chen, Y., Li, S., & Xu, J. (2023). Bio-based intumescent flame retardants for sustainable textiles. *Green Chemistry*, 25, 4580–4598. <https://doi.org/10.1039/D3GC01326C>
- [5] Chen, D., Wang, H., & Li, S. (2024). Covalently bonded phosphorus–nitrogen flame retardants for durable textiles. *ACS Applied Polymer Materials*, 6(1), 51–63. <https://doi.org/10.1021/acsapm.3c01045>
- [6] Wang, X., Pan, Y., & Hu, Y. (2022). Flame-retardant textiles reinforced with nanomaterials: Mechanism and applications. *Composites Part B: Engineering*, 237, 109859. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.109859>
- [7] Patel, M., & Sharma, R. (2025). Plasma-treated fabrics for enhanced flame retardancy. *Textile Research Journal*, 95(3–4), 412–428. <https://doi.org/10.1177/00405175231110275>
- [8] Zhu, F., Xin, Q., et al. (2016). Influence of nano-silica on flame resistance behavior of intumescent flame retardant cellulosic textiles. *Surface and Coatings Technology*.
- [9] Wang, X., Song, L., Yang, H., Xing, W., Kandola, B., & Hu, Y. (2012). Simultaneous reduction and surface functionalization of graphene oxide with POSS for reducing fire hazards in epoxy composites. *Journal of Materials Chemistry*, 22, 22037–22043. <https://doi.org/10.1039/C2JM33966E>
- [10] Jing, J., Zhang, Y., Fang, Z. P., & Wang, D. Y. (2018). Core–shell flame retardant/graphene oxide hybrid. *Composites Science and Technology*, 165, 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2018.06.022>
- [11] Huang, G., Song, P., Liu, L., Han, D., Ge, C., Li, R., & Guo, Q. (2016). Fabrication of multifunctional graphene decorated with bromine and nano-Sb₂O₃. *Carbon*, 98, 689–701. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.11.044>
- [12] Wang, X., Zhou, S., Xing, W., Yu, B., Feng, X., Song, L., & Hu, Y. (2013). Self-assembly of Ni–Fe layered double hydroxide/graphene hybrids. *Journal of Materials Chemistry A*, 1, 4383–4390. <https://doi.org/10.1039/C3TA00150G>
- [13] Muzaffarova, N., & Nurkulov, F. (2024). Analysis of the thermal stability and surface area of antipyrenes synthesized for textile materials. *Universum: Chemistry and Biology*, (12), Article 126. <https://cyberleninka.ru/article/n/analysis-of-the-thermal-stability-and-surface-area-of-antipyrenes-synthesized-for-textile-materials>

- [14] Muzaffarova, N., Nurkulov, F., & Jalilov, A. (2022). Synthesis of a new phosphorus–nitrogen rich flame retardant and its use in cotton fabrics. Universum: Technical Sciences, (8-3), Article 101. <https://cyberleninka.ru/article/n/synthesis-of-a-new-flame-retardant-high-content-of-phorus-and-nitrogen-and-its-use-in-cotton-fabrics>
- [15] Muzaffarova, N. S., et al. (2023). Thermal stability of modified natural textile materials. Journal of Chemistry of Goods and Traditional Medicine, 2(4), 23–33.
- [16] Muzaffarova, N. S., et al. (2024). Synthesis of fire retardant with phosphorus and metal for textile materials. Kimya Problemleri, 22(3), 290–302.
- [17] Muzaffarova, N. S., & Nurkulov, F. N. (2022). Study of oligomer-antipyrine synthesis. ISJ Theoretical & Applied Science, 105(1), 489–492. <https://doi.org/10.15863/TAS>
- [18] Muzaffarova, N. S., Nurqulov, F. N., & Jalilov, A. T. (2022). Phosphorus- and nitrogen-containing flame retardants for textile materials. NamDU Scientific Bulletin, 152–156.
- [19] Muzaffarova, N., Nurkulov, F., & Toshtemirova, N. (2024). Synergic effect of fire retardants and their analogues for textile materials. Science and Innovation, 3(A2), 5–9.