

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSC.03/30.12.2019.К.01.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ  
КЕНГАШ АСОСИДАГИ БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**

**АБДУЛЛАЕВА НИГОРА НУРИДДИНОВНА**

**ПОИАНИЛИН АСОСИДАГИ ТОК ЎТКАЗУВЧИ ПОЛИМЕР  
МАТЕРИАЛЛАР**

**02.00.06 – Юқори молекуляр бирикмалар**

**КИМЁ ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2022**

**Кимё фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по  
химическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on  
chemical sciences**

**Абдуллаева Нигора Нуриддиновна**

Полианилин асосидаги ток ўтказувчи полимер материаллар..... 3

**Абдуллаева Нигора Нуриддиновна**

Токопроводящие полимерные материалы на основе полианилина..... 21

**Abdullayeva Nigora**

Conducting polymer materials based on polyaniline..... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works..... 43

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSC.03/30.12.2019.К.01.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ  
КЕНГАШ АСОСИДАГИ БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**

**АБДУЛЛАЕВА НИГОРА НУРИДДИНОВНА**

**ПОЛИАНИЛИН АСОСИДАГИ ТОК ЎТКАЗУВЧИ ПОЛИМЕР  
МАТЕРИАЛЛАР**

**02.00.06 – Юқори молекуляр бирикмалар**

**КИМЁ ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2022**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.4.PhD/К339 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Ўзбекистон Миллий университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус ва инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси ([www.cspi.uz.ilmiy-kengash](http://www.cspi.uz.ilmiy-kengash)) ва «Ziynet» Ахборот-таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Маҳкамов Музаффар Абдуғаппорович**  
кимё фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Рафиқов Адҳам Салимович**  
кимё фанлари доктори, профессор

**Жўраев Мурод Махмаражаб ўғли**  
кимё фанлари бўйича фалсафа доктори

**Етақчи ташкилот:**

**Тошкент кимё-технология институти**

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.03/30.12.2019.К.01.03 рақамли Илмий кенгаш асосидаги бир марталик илмий кенгашининг 2022 йил «28» октябрь соат 11<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100174, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 4-уй. Тел.: (+99871)246-07-88, факс: (+99824) 246-53-21; 246-02-24. e-mail: [chem0102@mail.ru](mailto:chem0102@mail.ru)).

Диссертация билан Ўзбекистон Миллий университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (116 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: (100174, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 4 уй. Тел: (+99871) 246-07-88, факс: (+99871) 246-53-21; 246-02-24; e-mail: [pauka@nuu.uz](mailto:pauka@nuu.uz)).

Диссертация автореферати 2022 йил «13» октябрь кун тарқатилди.  
(2022 йил «13» октябрдаги 18 – рақамли реестр баённомаси).

**А.З. Сманова**

Илмий даражалар берувчи бир марталик  
Илмий кенгаш раиси,  
к.ф.д., профессор

**Д.Ж. Бекчанов**

Илмий даражалар берувчи бир марталик  
Илмий кенгаш илмий котиби,  
к.ф.д., доцент

**М.Г. Мухамедиев**

Илмий даражалар берувчи бир марталик  
Илмий кенгаш қошидаги илмий семинар  
раиси, к.ф.д., профессор

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Дунёда электр ўтказувчанлик хусусиятига эга полимер материаллар электротехникада электрлюминисцент диодлар, плёнкасимон транзисторлар, датчиклар, сенсорлар, электрон дисплейлар, рақамли хотира ва мантикий қурилмаларнинг элементлари, қуёш батареялари, юқори аниқлик талаб қиладиган тиббий диагностик ва аналитик қурилмалар, қаттиқ аккумулятор батареялари ва бошқа ускуналарда кенг қўлланилмоқда.

Бугунги кунда жаҳон миқёсида электрон технологияларни ривожланиши натижасида яримўтказувчанлик хусусиятига эга полимерлар олиш жараёнининг кинетикаси ва механизмини, улар асосида янги композициялар яратиш, ҳамда олинган материалларнинг кимёвий, физик, физик-кимёвий хоссаларини тадқиқ қилиш муҳим илмий аҳамият касб этади.

Мамлакатимизда сўнгги йилларда яримўтказувчанлик хусусиятига эга полимер композицион материаллар асосидаги маҳсулотларнинг импорт қилинувчи маҳсулотлар ўрнига амалиётга жорий этиш муаммосини ечишга алоҳида эътибор қаратилиб, турли транзисторлар, ион ўтказувчи материаллар, пьезо-қаршиликни сезувчи қурилмалар, қуёш батареялар, аккумуляторлар учун электродлар, металлларни коррозиядан ҳимоялаш учун қопламалар ва бошқа материаллар олишда бир қатор ишлар амалга оширилмоқда. Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида “миллий иқтисодиётни жадал ривожлантириш ва юқори ўсиш суръатларини таъминлаш” вазифалари берилган<sup>1</sup>. Бу борада электр токи ўтказувчан янги полимер композицион материаллар олиш, уларни хоссаларини ва фойдаланиш соҳаларини аниқлаш ҳамда ишлаб чиқаришнинг турли йўналишларида амалиётга тадбиқ этиш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 29 августдаги ПҚ-3264-сон “Кимё саноати ташкилотларининг экспорт-импорт фаолиятини такомиллаштириш чора тадбирлари тўғрисида” ва 2020 йил 12 августдаги ПҚ-4805-сон «Кимё ва биология йўналишларида узлуксиз таълим сифатини ва илм-фан натижадорлигини ошириш чора тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари, шунингдек, мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг VII «Кимё технологиялари ва нанотехнологиялари» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Полианилин асосида ион ва электр ўтказувчи полимер материалларнинг физик-кимёвий хоссаларини

---

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» фармони.

ўрганиш борасидаги дастлабки тадқиқотлар Нобел мукофоти лауреатлари С.Fritzsche (Германия), А.MarcDiarmid ва А.Heeger (АҚШ) каби олимлар билан боғлиқ. А.MarcDiarmid ва унинг илмий жамоаси томонидан биринчилардан бўлиб полианилиннинг мавжуд шакллари ва уларни турли хилдаги допандлар иштирокида допирлаш усуллари тизимли тарзда ўрганилган. Полианилиннинг кимёвий оксидловчилар иштирокида полимерланиш назариясини ривожига Я.Стежескал (Чехия) ва Л.Сапурина (Украина) катта ҳисса қўшишган. Я.Межуев, Ю.Коршак, А.Шишкиналар (Россия) анилиннинг сувли эритмаларда кимёвий оксидловчилар иштирокида катион полимерланиш механизмини ва кинетикасини ўрганиш борасида кенг қўламли илмий тадқиқотлар олиб бориб ушбу йўналишни ривожига катта ҳисса қўшган.

Мамлакатимизда А.Мамадалиев, Ш.Темирова каби физик олимлар полианилиннинг ўтказувчанлик механизмларини ўрганишни биринчилардан бўлиб бошлаб берган. А.Джалилов, А.Набиев, Д.Каримова, Э.Жумаева, Х.Тураев, М.Маҳкамов каби кимёгар олимларнинг полианилин ва унинг композицияларини синтез қилиш ва хоссаларини тадқиқ қилиш соҳасида олиб борган илмий изланишлари алоҳида аҳамиятга эга.

Анилиннинг полимерланишига оид тадқиқотлар кўп йиллар давомида олиб борилаётганига қарамай, ушбу соҳада ханузгача ечилмаган муаммолар жуда кўп, жумладан, полианилиннинг полимерланиш механизми ҳозирда тўлиқ очиб берилмаган, полимерларни синтез шароити ва уларнинг электрофизикавий хоссалари орасидаги боғлиқликлар чуқур ўрганилмаган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Миллий университети илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ №Ф-ОТ-2021-291 «Нанокomпозицион полимер қопламалар олишнинг электрокимёвий ва электрофизикавий асослари» (2021-2026 йй.) мавзусидаги фундаментал лойиҳа доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** сувли эритмаларда анилиннинг оксидланишли полимерланиш кинетикаси ва механизмини ҳамда полианилин асосидаги материалларнинг физик-кимёвий ва электрофизик хоссаларини аниқлашдан иборат.

#### **Тадқиқотнинг вазифалари:**

сувли эритмаларда анилиннинг оксидланишли полимерланишига оксидловчилар табиати ва эритма муҳити таъсирини аниқлаш;

анилиннинг сувли эритмада катион полимерланиш кинетикаси ва механизмини тадқиқ қилиш;

полианилиннинг  $ZnO$  ва  $TiO_2$  билан ток ўтказувчан полимер композицияларини олиш ҳамда уларнинг физик-кимёвий хоссаларини тадқиқ қилиш;

полианилиннинг синтез шароити ҳамда у асосидаги композициялар таркибидаги металл оксидлари миқдорини олинган материаллар физик-кимёвий ва электрофизик хоссаларига таъсирини аниқлаш;

ишда олинган полимер ва композицияларнинг амалиётда фойдаланиш соҳаларини аниқлаш.

**Тадқиқотнинг объекти** полианилин ва унинг ZnO ҳамда TiO<sub>2</sub> билан ток ўтказувчан полимер композициялари ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг предмети** анилиннинг сувли эритмада оксидланишли полимерланиш кинетикаси ва механизми, полианилин ва унинг металл оксидлари билан полимер композицияларининг физик-кимёвий ва электрофизик хусусиятларини аниқлашдан иборат.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Сканерловчи электрон микроскопия, ИҚ-, Раман спектроскопия, рентгенофазали анализ, термогравиметрик ва дифференциал термик анализ, вольт-ампериметрия, потенциометрия ва бошқа замонавий тадқиқот усулларида фойдаланганлиги билан асосланади.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қўйидагилардан иборат:

анилиннинг сувли эритмаларда полимерланиш жараёнининг кинетик параметрлари, умумий фаолланиш энергияси ҳамда мономер ва оксидловчи бўйича реакция тартиблари аниқланиб, анилиннинг персульфатлар иштирокида полимерланиши паст ҳароратларда катион, юқори ҳароратларда эса радикал механизмда бориши исботланган;

полианилин таркибига допантлар киритилиши унинг термокимёвий деструкция жараёнини тезлашиши ва умумий энергиясининг камайишига олиб келиши исботланган;

олинган полимер ва композицион материалларнинг ток ўтказувчанлиги ҳамда уларни олиш шароитлари, допанд табиати ва миқдори орасидаги боғлиқликлар аниқланган;

илк бор полианилиннинг ZnO билан ҳосил қилган полимер композицияси таркибидаги металл оксидининг масса миқдори 15% гача бўлганида улар яримўтказгичлар, ундан юқори бўлганида эса металлларга хос электр ўтказиш хусусиятига эга бўлиши исботланган;

илк бор полианилиннинг эмеральдин туз шакли «*p*» типдаги, таркибида ZnO ва TiO<sub>2</sub> тутган композициялари эса «*n*» типдаги электр ўтказувчанликка эга бўлган яримўтказгич материаллар турига кириши аниқланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қўйидагилардан иборат:

полианилин асосида ток ўтказувчи полимер ва композитлар олиш, уларни сақлаш ҳамда фойдаланиш шароитлари аниқланган;

полианилин асосидаги материаллар зарядланувчи батареялар ва суперконденсаторларни электрод материалларининг таркибий компонентлари, турли антистатик композициялар тайёрлашда қўшимчалар сифатида, шунингдек автоматика ҳамда назорат ўлчов (КИПиА) асбоб-ускуналарида контакт, ток ўтказувчи элементлар сифатида қўллаш мумкинлиги аниқланган.

**Тадқиқот натижаларининг ишонччилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишонччилиги ишда қўлланилган физик-кимёвий усуллар, сканерловчи электрон микроскопия, ИҚ- ва Раман спектроскопия, рентгенофазали таҳлил, ТГ ва ДТГ таҳлилар, вольт-ампер характеристикаси, потенциометрия ҳамда моддаларни тузилиши ва хоссаларини тадқиқ қилишни турли кимёвий усуллардан фойдаланилгани билан асосланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти сувли эритмаларда анилинни

персульфатлар иштирокида полимерланиш кинетикаси ўрганилиб, жараённинг кинетик параметрлари аниқлангани, олинган натижалар анилиннинг полимерланиш механизмига оид назарий билимларни кенгайтишига олиб келиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ток ўтказувчи янги полимер материаллар синтез қилингани ва уларнинг физикавий параметрлари яримўтказувчи материалларнинг жаҳон стандартлари талабларига мувофиқ эканлиги амалий синовлар натижасида тасдиқлангани билан изоҳланди.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Полианилин асосида ток ўтказувчи материаллар олиш, уларнинг физик ва физик-кимёвий хоссаларини ўрганиш бўйича олинган натижалар асосида:

полианилин асосидаги композит материаллар синтези учун ташкилот стандарти Ўзбекистон Республикаси Санитария - эпидемиологик осойишталик ва жамоат саломатлиги хизмати ташкилоти томонидан тасдиқланган (Ts 200845944-01:2021). Натижада, корхоналарда полимерни олиш, сақлаш ва ундан фойдаланиш бўйича стандарт шароитлар яратиш имконини берган;

полианилин асосида олинган ток ўтказувчи полимер композитларни «Фотон» АЖда электрофизик параметрлари ўрганилган («Фотон» АЖ корхонасининг 2022 йил 03-мартдаги №-04-3/352-сон маълумотномаси). Натижада, қайта зарядланувчи батареялар ва суперконденсаторлар электрод материалларининг таркибий компонентлари, турли антистатик композициялар тайёрлашда қўшимчалар сифатида фойдаланиш имконини берган;

полианилин асосида олинган ўтказувчи полимер композитлар «Электрокимёзавад» ҚК АЖ томонидан автоматика ва назорат ўлчов ускуналари ва назорат ўлчов асбоблари бўлими лабораториясида синовдан ўтказилган («Электрокимёзавад» ҚК АЖ корхонасининг 2022 йил 17-майдаги №123-сон маълумотномаси). Натижада полианилин асосидаги ток ўтказувчи полимер материаллардан автоматика ва назорат ўлчов (КИПиА) асбоб-ускуналарида контакт ва ток ўтказувчи элементлар сифатида фойдаланиш мумкинлиги кўрсатилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Диссертация ишининг натижалари 10 та, жумладан 3 та халқаро ва 7 та республика илмий-амалий анжуманларида тақдим қилиниб муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 14 та илмий иш чоп этилган, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 4 та мақола, жумладан 2 таси республика ва 2 таси хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, тўрт боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, иловадан иборат. Диссертациянинг ҳажми 105 бетни ташкил этади.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Муаллиф диссертация ишини бажаришда берган илмий маслаҳатлари учун физика-математика фанлари доктори, ЎзР ФА академиги А.Т.Мамадалимовга ўзининг самимий миннатдорчилигини билдиради.



## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари тавсифланган, унинг объекти, предмети ва усуллари аниқланган, Ўзбекистон Республикасида фан ва технологиялар ривожининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатиб берилган, муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, уларнинг ишончлилиги асосланган, натижаларни амалиётга жорий этиш бўйича қисқача маълумот берилган, ишнинг апробацияси натижалари, чоп этилган ишлар ва диссертация тузилиши тўғрисидаги маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Полианилин асосидаги материаллар ва уларнинг хоссалари»** номли биринчи бобда полианилиннинг (ПАНИ) олиниши, ишлатилиши, физик-кимёвий хоссалари ва у асосида полимер композициялар олиш усуллари, ушбу материалларнинг ўзига хос жиҳатлари, улардан фойдаланиш истиқболлари кўриб чиқилган ва таҳлил қилинган. Мавжуд назарий ва амалий натижалар таҳлили асосида вазифанинг қўйилиши тавсифланган, мавзунинг долзарблиги ва аҳамияти асосланган, саноатнинг турли соҳаларида қўллаш мақсадида ПАНИ асосида электр токи ўтказиш хоссасига эга полимер материаллар синтез қилиш зарурияти тўғрисида ҳулосалар чиқарилган.

**«Анилиннинг сувли эритмаларда оксидланишли полимерланиш жараёнини тадқиқ қилиш ва полианилиннинг баъзи металл оксидлари билан композицияларини олиш»** номли иккинчи бобда анилиннинг сувли эритмаларда турли оксидловчилар иштирокида полимерланиш жараёни, ушбу жараёнга таъсир қилувчи омиллар ҳамда ПАНИнинг  $ZnO$  ва  $TiO_2$  билан полимер композицияларини олишга оид тадқиқот натижалари келтирилган.

ПАНИ синтези анилинни (*Ani*) сувли эритмада турли оксидловчилар (*Ox*) иштирокида полимерлаш ёрдамида амалга оширилган. Оксидловчилар сифатида  $H_2O_2$ ,  $HClO_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $K_2Cr_2O_7$ ,  $K_2S_2O_8$ ,  $(NH_4)_2S_2O_8$  каби кимёвий бирикмалардан фойдаланилган. Барча оксидловчилар иштирокида анилиннинг полимерланиш жараёни содир бўлиши, ҳосил бўлаётган полимернинг сувли эритмада эримаслиги сабабли жараёнининг гетероген фазада бориши кузатилган. Тадқиқотларда полимер ҳосил бўлиш унумига оксидловчи тури ҳамда уларнинг эритмадаги концентрациялари катта таъсир кўрсатиши аниқланган (1-жадвал).

1-жадвалда келтирилган натижалардан кўриниб турибдики оксидловчининг оксидланиш-қайтарилиш потенциали ортиб бориши билан анилиннинг полимерланиш унуми ҳам ортади. Шунингдек, оксидловчилар сифатида  $(NH_4)_2S_2O_8$  ва  $K_2S_2O_8$  фойдаланилганда анилиннинг полимерланиш унуми бошқа оксидловчилардан фойдалангандагига қараганда юқорироқ эканлиги ҳам кўриниб турибди. Шу сабабли учун ҳам кейинги тадқиқотларда полианилин ва унинг асосидаги полимер композицияларни олишда фақат ушбу оксидловчилардан фойдаланилган.

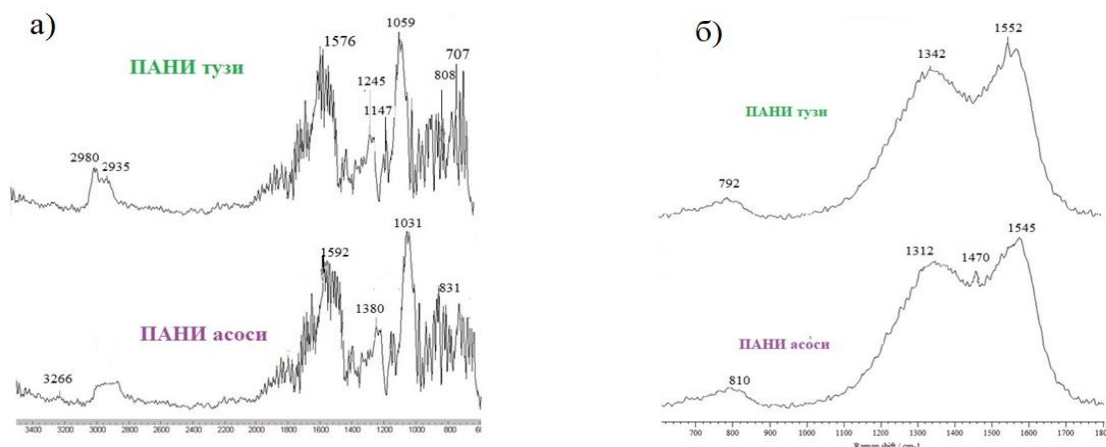
# 1-жадвал

Анилиннинг полимерланиш унумига оксидловчи тури ва реакцияон  
аралашмадаги [Ani]:[Ox] моль нисбати таъсири  
(Ванна модули 30:1, T= 297 K, t=24 соат)

[Ox]	Окс. пот., В	[Ani]:[Ox]	Полим. унуми, %	[Ox]	Окс. пот., В	[Ani]/[Ox]	Полим. унуми, %
FeCl <sub>3</sub>	0,77	1,00:0,75	10	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	1,36	1,00:0,75	12
		1,00:1,00	20			1,00:1,00	38
		1,00:1,25	24			1,00:1,25	40
K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	2,01	1,00:0,75	30	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1,78	1,00:0,75	18
		1,00:1,00	60			1,00:1,00	40
		1,00:1,25	76			1,00:1,25	44
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	2,06	1,00:0,75	39	HClO <sub>3</sub>	1,45	1,00:0,75	12
		1,00:1,00	70			1,00:1,00	28
		1,00:1,25	84			1,00:1,25	32

Тадқиқотларда реакцияон аралашмадаги [Ani]:[Ox] моль нисбати ҳам полимер ҳосил бўлиш унумига катта таъсир кўрсатиши ҳам аниқланиб, барча ҳолатларда энг юқори унум ушбу нисбат 1,00:1,25 бўлганида кузатилади.

Тадқиқотлар жараёнида синтез қилинган ПАНИнинг эмеральдин асос ва туз шакллариининг идентификацияси уларнинг ИҚ-Фурье- ҳамда Раман спектрларини таҳлил қилиш орқали амалга оширилган (1-расм).



1-расм. ПАНИнинг эмеральдин асос ва туз шакллариининг ИҚ- (а) ва Раман (б) спектрлари

ПАНИнинг асос шаклини ИҚ-спектрида 3266 см<sup>-1</sup> соҳадаги чўққи полимер занжиридаги ароматик ҳалқалар билан боғланган –NH– гуруҳлар учун хос ҳисобланади. ПАНИнинг туз шаклини ИҚ-спектридаги 2980 см<sup>-1</sup> соҳадаги чўққи протонлаган имин –NH<sup>+</sup>= гуруҳлари учун хосдир. Полимер занжиридаги хиноид ва бензоид шакллари таркибидаги С=С боғ учун характерли чўққилар эмеральдин асосида 1592 см<sup>-1</sup>, туз шакли учун эса 1576 см<sup>-1</sup> соҳаларда кузатилади. Полимернинг асос шаклига тегишли спектрдаги 1380 см<sup>-1</sup> соҳадаги чўққи С<sub>бенз</sub>-N=С<sub>ҳалқа</sub> боғларнинг тебраниши учун хос.

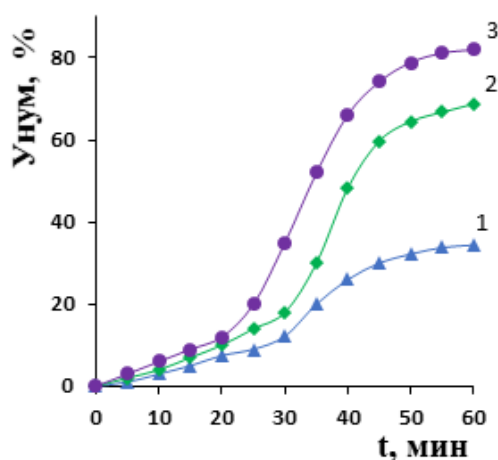
Полимернинг туз шакли спектридаги  $1245\text{ см}^{-1}$  соҳадаги чўкки эса унинг кутбланган  $\text{C}\sim\text{N}^{++}$  боғнинг тебраниши (қўш ёки оддий боғ) ҳисобига юзага келади.

ПАНИнинг Раман спектрларидаги  $1545\text{ см}^{-1}$  (полимернинг асос шакли) ва  $1552\text{ см}^{-1}$  (полимернинг туз шакли) соҳалардаги чўкқилар  $-\text{C}=\text{C}-$  (бензоид ва хиноид шакллардаги) гуруҳлар учун хос. Полимер занжиридаги  $-\text{C}=\text{N}-$  гуруҳлар эса мос равишда  $1342\text{ см}^{-1}$  (полимернинг туз шакли) ва  $1312\text{ см}^{-1}$  (полимернинг асос шакли) соҳаларда сочилиш чўкқиларини ҳосил қилади. Эмеральдин асосининг  $\text{C}=\text{N}$  боғи  $1470\text{ см}^{-1}$  соҳада чўкки берса, туз шаклининг кутбли  $\text{C}-\text{N}$  боғи учун хос чўкки нисбатан юқори соҳага силжишини, яъни  $1342\text{ см}^{-1}$  соҳада чўкки берганини кўриш мумкин.

ПАНИнинг эмеральдин асос шакли бинафша, туз шакли эса тўқ яшил рангда бўлиб, бу адабий маълумотларга ҳам тўлиқ мос келади.

ПАНИнинг эмеральдин асос ва туз шакллари сувда ва бошқа кўпчилик органик эритувчиларда эримайдиган кукунсимон моддалардир. Тадқиқотларда уларнинг N-метилпирролидон ва концентрланган сульфат кислотада оз миқдорда (0,5-5% оралиғида) эриши аниқланди. ПАНИнинг ушбу эритувчиларда эриш жараёнида комплекслар ҳосил қилиши сабабли ҳам улар эритмасида полимернинг молекуляр массавий характеристикаларини аниқлаб бўлмайди.

Анилиннинг сувли эритмаларда  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  ва  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  иштирокида полимерланиш кинетикаси  $273\text{ К}$  ҳароратда ўрганилди.



**2-расм.** Анилиннинг сувли эритмада  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  иштирокида полимерланиш унумининг реакция давомийлигига боғлиқлиги. 1-0,2Н аммиак (pH-10); 2-дистилланган сув (pH-6,5); 3-0,1Н  $\text{HCl}$  (pH-1,0).  $T=273\text{ К}$ .

Натижада, анилиннинг сувли эритмада  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  ва  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  иштирокида оксидланишли полимерланиш жараёнида полимернинг ҳосил бўлиш унуми реакция давомийлиги ортиши билан ошиб бориши аниқланди. Тадқиқотлар давомида реакцион аралашма pH қиймати анилиннинг полимерланиш унумига катта таъсир қилиши аниқланиб, энг юқори унум кислотали шароитда ҳосил бўлиши кузатилди. Шу билан биргаликда анилиннинг полимерланиш жараёни автотезланиш билан бориши кўрсатиб берилди. Ушбу ҳолат анилинни кислотали ва ишқорий муҳитга эга бўлган эритмаларда полимерланиш жараёнига ҳам тааллуқли.

Анилиннинг оксидланишли полимерланиш жараёнига реакцион аралашма ҳарорати тасирини ўрганиш натижалари 2-жадвалда келтирилган.

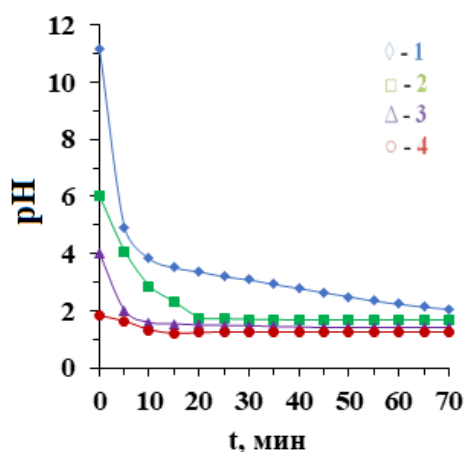
## 2-жадвал

Полианилин ҳосил бўлиш унумига реакция аралашмадаги  $[Ani]:[Ox]$  моль нисбати ва ҳарорат таъсири ( $[HCl]=0,1$  моль/л,  $[Ani]=5,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л,  $t=22$  соат)

[Ox] концентрацияси, $10^{-2}$ моль/л	Унум, %		
	273K	283K	297K
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>			
2,50	24,50	19,80	18,20
3,75	42,20	41,20	39,20
5,0	81,50	68,50	59,70
6,25	88,10	76,80	76,80
K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>			
2,50	22,50	21,60	18,90
3,75	38,80	34,40	31,60
5,0	76,50	62,80	60,60
6,25	86,10	77,70	72,20

2-жадвалдаги келтирилган натижалардан кўриниб турибдики, эритма ҳароратининг ортиши билан полимер ҳосил бўлиш унуми камайиб бормоқда. Бу мономерларнинг катион механизмда полимерланиши учун хос ҳисобланади.

Анилиннинг полимерланиш жараёнини ўрганиш давомида реакция эритма pH қийматининг камайиши кузатилди (3-расм), бу эритма pH қийматининг ўзгаришини аниқлаш орқали мономернинг полимерга айланиш даражасини ҳисоблаб топиш имконини беради.



3-расм. Анилиннинг (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> иштирокида полимерланиш жараёнида реакция давомийлигини ортиши билан эритма pH қийматининг ўзгариши. 1-0,2М аммиак эритмаси; 2-дистилланган сув; 3-0,4М сирка кислотаси; 4-0,1М сульфат кислотаси.

Шунинг учун ҳам анилиннинг полимерланиши бошланғич босқичлардаги полимерланиш тезлиги реакция аралашманинг pH муҳити қийматининг ўзгаришини аниқлаш ёрдамида олинган натижалар асосида ҳисоблаб топилди. Натижада, анилиннинг сувли эритмада пероксидлар иштирокида катион полимерланиш тезлигининг умумий тенгламалари келтириб чиқарилди. Ушбу тенгламалар ҳар икки оксидловчи иштирокида анилиннинг полимерланиши учун бир хил бўлиб, қўйидаги кўринишга эга:

$$V=K*[Ox] \times [Ani]^{1,8}$$

Анилиннинг катион полимерланишида мономер бўйича реакция тартибининг назарий иккидан фарқланиши реакция нафақат катион

полимерланиш ҳисобига, шунингдек маълум даражада радикал полимерланиш ҳисобига ҳам бориши билан тушунтирилиши мумкин.

Ишда анилиннинг катион полимерланиш кинетикаси турли ҳароратларда ҳам ўрганилиб, жараёнинг баъзи бир кинетик параметрларининг қийматлари ҳисоблаб топилди (3- ва 4-жадваллар).

### 3- жадвал

**Анилиннинг  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  иштирокида катион полимерланиш жараёнининг кинетик параметрлари**  
 $[\text{Ani}]=0,05$  моль/л,  $[\text{Ox}]=0,05$  моль/л

Т, К	$V \cdot 10^5$ , моль/лс	$K_m \cdot 10^5$	$E$ , кЖ/моль
273	5,33	1,94	6,07
283	4,53	1,65	
297	4,33	1,58	

### 4- жадвал

**Анилинни  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  иштирокида катион полимерланиш жараёнининг кинетик параметрлари**  
 $[\text{Ani}]=0,05$  моль/л,  $[\text{Ox}]=0,05$  моль/л

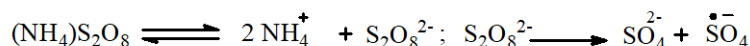
Т, К	$V \cdot 10^5$ , моль/лс	$K_m \cdot 10^5$	$E$ , кЖ/моль
273	4,98	1,82	15,03
283	4,04	1,48	
297	2,93	1,07	

3- ва 4-жадвалларда келтирилган маълумотлардан кўриниб турибдики,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  иштирокида анилиннинг сувли эритмаларда катион полимерланиш тезлиги  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  иштирокида олиб борилганга нисбатан юқорироқ, буни жараёнинг умумий фаолланиш энергиясини кичикроқ қийматга эга эканлиги билан тушунтириш мумкин. Хар икки оксидловчи иштирокида анилиннинг полимерланиш жараёнларининг умумий фаолланиш энергияларининг қийматлари радикал полимерланиш жараёнлариникига қараганда нисбатан анча кичик бўлиб, бу ион полимерланишнинг умумий фаолланиш энергияларига мос келади.

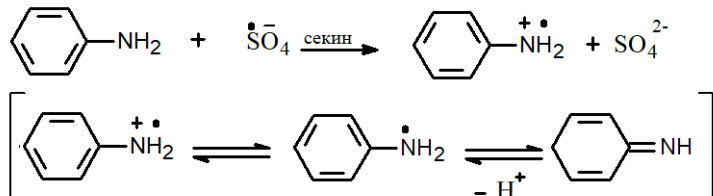
Анилиннинг оксидланишли полимерланиш механизмига аниқлик киритиш мақсадида уни сувли эритмада,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  ҳамда радикал полимерланиш ингибитори сифатида гидрохинондан (парадигидроксibenзол,  $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$ ) фойдаланган ҳолда 273-343 К ҳарорат оралиғида полимерланиши тадқиқ қилинди. Натижада, анилиннинг ингибитор иштирокисиз полимерланиш ўрганилган ҳароратлар оралиғининг барчасида унинг полимерланиши содир бўлиши кузатилди. Лекин, ингибитор иштирокида эса анилиннинг полимерланиш фақат 323 К ҳароратгача содир бўлиши аниқланди. Бу анилиннинг оксидланишли полимерланиши 323 К ҳароратгача катион, ундан юқори ҳароратларда эса радикал механизмда боришини кўрсатади. Олинган натижалар ҳамда илмий адабиётлар таҳлили

асосида анилиннинг персульфатлар иштирокида сувли эритмаларда оксидланишли полимерланишининг қўйидаги механизми таклиф қилинди:

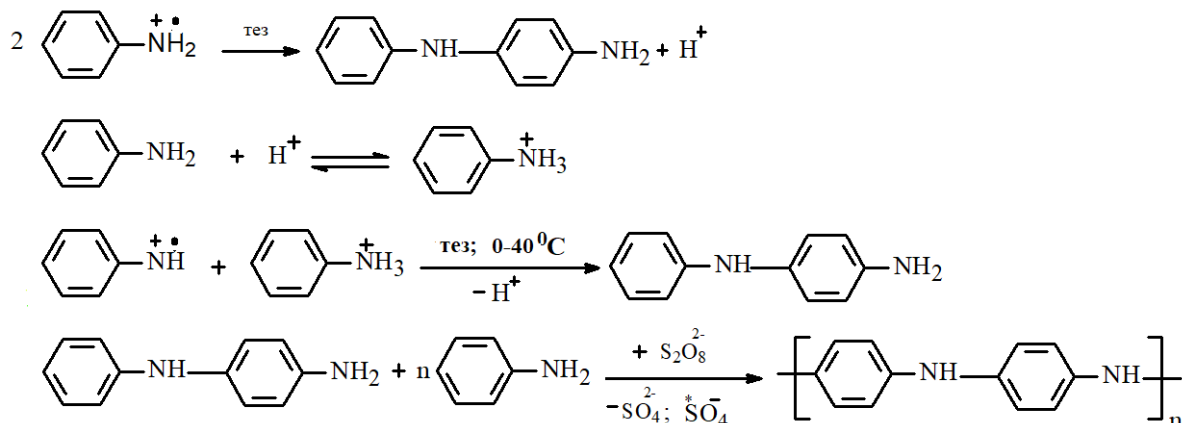
Персульфатларнинг парчаланиши:



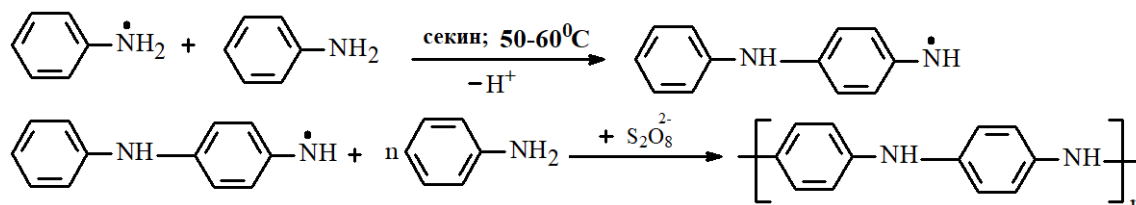
Фаол марказнинг ҳосил бўлиши:



Катион полимерланиш:



Радикал полимерланиш:



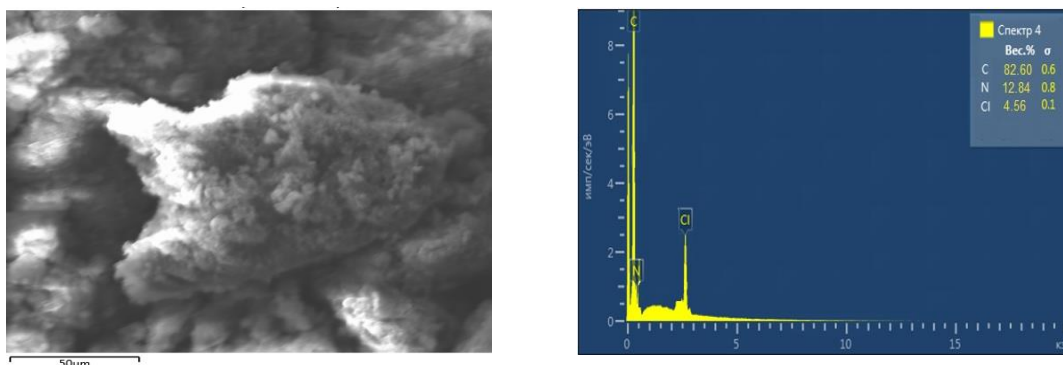
Таклиф қилинаётган механизмлардан кўриниб турибдики анилин 323 К ҳароратгача катион-радикал фаол марказлар ҳосил бўлиши натижасида катион, ундан юқори ҳароратларда эса эркин радикал фаол марказлар томонидан инициирланган радикал механизмда полимерланишга учрайди.

Ишда шунингдек, ПАНИ асосидаги материалларнинг таркибига металл оксидларини киритиш уларнинг электрофизик хоссаларига қандай таъсир қилишини аниқлаш мақсадида таркибида масса буйича 25% гача ZnO ва TiO<sub>2</sub> тутган полимер композициялар олинган. Полимер композициялар металл оксидлари заррачалари мавжуд суспензияда анилинни полимерлаш йўли билан олинган. Полимер композицияларнинг тузилишини ИҚ- ва Раман спектроскопия усуллари билан идентификация қилинган. Натижада, полимер композиция таркибидаги компонентлар орасида фақат кучсиз электростатик боғланишлар мавжуд эканлиги аниқланган.

Диссертациянинг «Полианилин асосидаги полимер материалларнинг физик-кимёвий ва электрофизик хоссалари» номли учинчи бобида ишда синтез қилинган ПАНИнинг эмеральдин туз, асос

шакллари ҳамда уларнинг ZnO ва TiO<sub>2</sub> билан полимер композицияларининг физик-кимёвий ва электрофизик хоссалари ўрганилиб, олинган натижалар асосида илмий хулосалар чиқарилган.

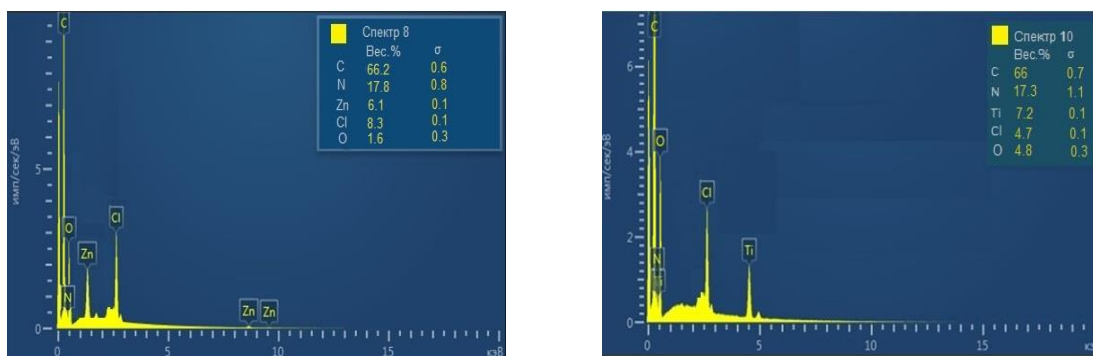
ПАНИнинг эмералдин туз ва асос шакллари қаттиқ кукунсимон моддалар бўлгани учун ҳам, аввало уларнинг сирт тузилиши ўрганилди. Бунинг учун улар намуналарининг СЭМ микрофотосуратлари олиниб ушбу моддаларнинг сирти ғоваксимон тузилишга эга эканлиги аниқланди. СЭМ микроанализатори ёрдамида полимер намуналарининг энергия дисперсион спектрларини олиш орқали улар сирт қаватларининг элемент таркиби ҳам аниқланган.



**4-расм. ПАНИ·НСІ намуналарининг СЭМ микрофотосурати (а) ва энергия дисперсион спектри (б)**

Полимерларнинг энергодисперс спектрлари асосида ҳисоблаб топилган элемент таркиблари натижалари уларнинг тузилишини исботловчи яна бир далил сифатида хизмат қилади.

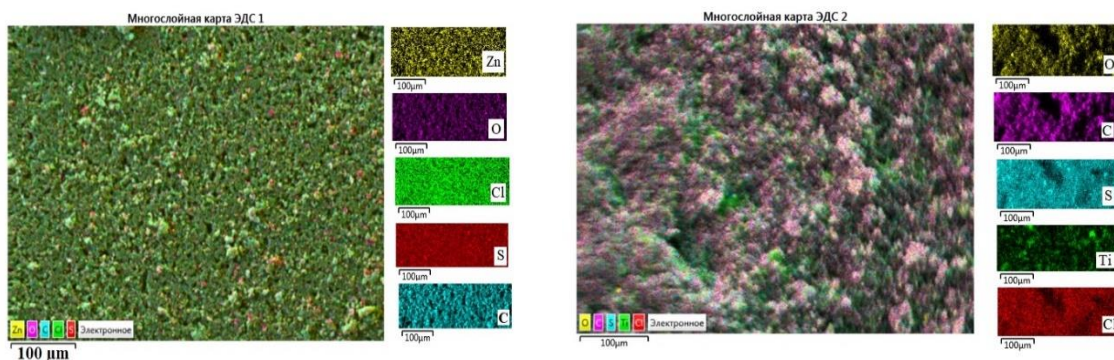
Ишда ПАНИнинг эмеральдин туз шакли ва унинг металл оксидлари асосидаги полимер композицияларининг СЭМ микрофотосуратлари ҳам олиниб, уларни таҳлил қилиш орқали материалларнинг сирт тузилиши ўрганилган. Энергия дисерцион спектрлари асосида эса материаллар сирти элемент таркиблари аниқланган (5-расм).



**5-расм. ПАНИ/ZnO (а) ва ПАНИ/TiO<sub>2</sub> (б) таркибли композиция намуналарининг энергия дисперсион спектрлари**

Полимер композициялар таркибидаги металл оксидларининг қандай тарзда тарқалганини ўрганиш мақсадида улар намуналарининг энергодисперсион спектрлари хариталари олинган (6-расм).

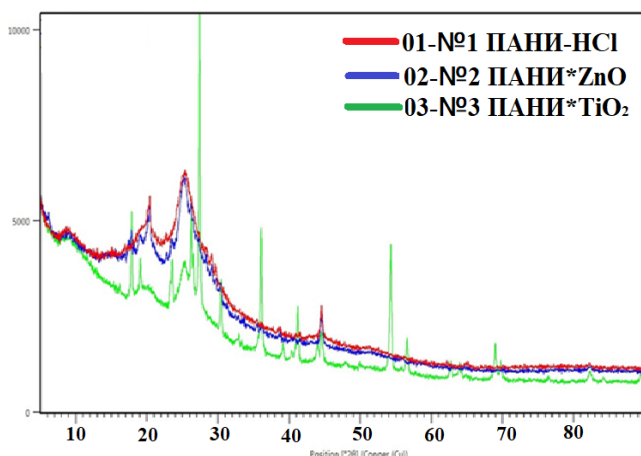




**6-расм. ПАНИ/ $\text{ZnO}$  (а) ва ПАНИ/ $\text{TiO}_2$  (б) композициялари таркибидаги элементларнинг тақсимланиш хариталари**

6-расмда келтирилган расмлардаги энергия дисперсион хариталардан композициялар таркибида  $\text{ZnO}$  ва  $\text{TiO}_2$  заррачаларининг бир текис тақсимлангани кўриниб турибди.

Олинган полимер ва композицияларнинг фазавий структурасини ўрганиш мақсадида улар намуналарининг рентгенофазили анализлари ҳам амалга оширилди (7-расм).



**7-расм. Поланилин асосидаги полимер материалларнинг рентген дифрактограммалари**

Рентгенофазили анализ дифрактограммаларидан кўриниб турибдики, ПАНИнинг эмеральдин туз шаклида кристалл ҳудудлар мавжуд. Ушбу полимер таркибига  $\text{ZnO}$  заррачаларининг киритилиши композициянинг кристаллик даражасини жуда оз, лекин  $\text{TiO}_2$  заррачаларининг киритилиши натижасида эса унинг сезиларли даражада ортишини кўриш мумкин.

Ишда шунингдек, ПАНИнинг эмеральдин туз (ПАНИ· $\text{HCl}$ ) ва асос шакллари ҳамда ПАНИ· $\text{HCl}$  нинг  $\text{ZnO}$  билан ҳосил қилган композицияларининг термик анализлари ҳам амалга оширилди. Бунда ПАНИнинг эмеральдин асос шакли энг барқарор эканлиги, унинг термик деструкцияси 590 К ҳароратда бошланиши аниқланди. Ушбу полимер таркибига допант сифатида  $\text{HCl}$  ҳамда  $\text{ZnO}$  заррачаларининг киритилиши унинг термик деструкцияланиш ҳароратларини мос равишда 549 ва 561 К ҳароратгача камайишига олиб келади.

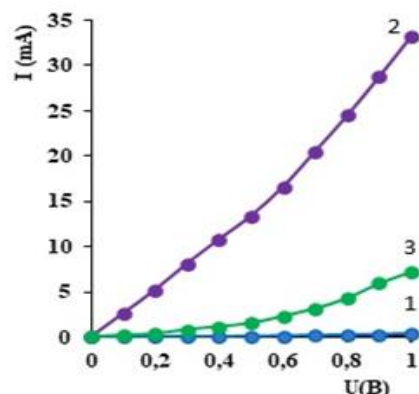
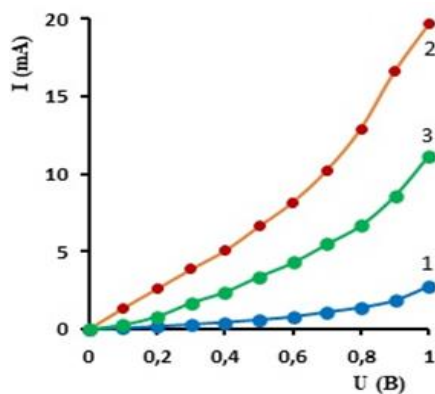
Термик анализ натижалари асосида полимер ва композицион материалларнинг термодеструкция жараёнининг баъзи бир кинетик параметрлари ҳисоблаб топилди (5-жадвал)



**ПАНИ асосидаги полимер материалларнинг термодеструкцияланиш  
жараёнининг кинетик параметрлари**

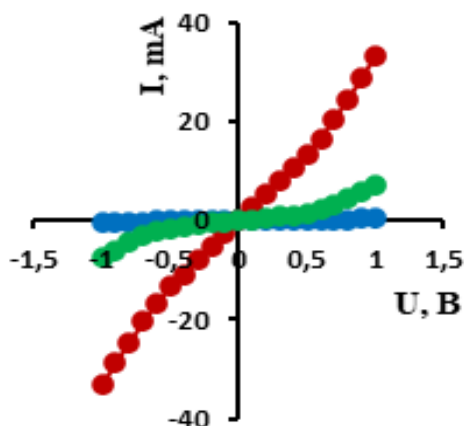
Намуна	$K_0 \times 10^5, c^{-1}$	$E, \text{кДж/моль}$
ПАНИ эмеральдин асоси шакли	8,20	45,50
ПАНИ эмеральдин туз (HCl) шакли	0,15	11,20
ПАНИ/ZnO композиция	1,50	44,80

Ишнинг асосий вазифалардан бири бу полианилиннинг синтез шароити ва унинг таркибига киритилган допантларнинг олинган материалларнинг электр ўтказувчанлигига таъсирини аниқлаш бўлгани учун ҳам, турли шароитларда олинган ПАНИнинг эмеральдин шакллари ҳамда уларнинг ZnO ва  $\text{TiO}_2$  билан ҳосил қилган композицияларининг вольт-ампер характеристикаси, яъни материалларнинг 0-1В кучланиш оралиғида ўтказган ток кучи аниқланди. Дастлабки тадқиқотлар ПАНИнинг эмеральдин асосининг солиштирма электр ўтказувчанлиги жуда кичик, яъни диэлектрик материалларникига яқин эканлигини кўрсатди. Шунинг учун ҳам тадқиқотлар давомида фақат ПАНИнинг эмеральдин тузи (HCl билан допирланган) ва унинг асосидаги композицияларнинг вольт-ампер характеристикалари ўрганилди. Реакцион аралашмадаги  $[\text{Ani}]/[\text{Ox}]$  моль нисбатлари турлича бўлганида олинган ПАНИнинг эмеральдин туз шакли намуналарнинг вольт-ампер характеристикалари 8- ва 9-расмларда келтирилган.



Олинган натижалар ПАНИ синтезида реакцион аралашмадаги  $[\text{Ani}]/[\text{Ox}]$  моль нисбати 1 га тенг бўлганида синтез қилинган полимер намуналарининг солиштирма электр ўтказувчанлиги энг юқори бўлишини кўрсатди. Шу билан биргаликда оксидловчи сифатида  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  дан фойдаланиб олинган полимер намуналарининг электр ўтказувчанлиги юқорироқ эканлиги ҳам аниқланди.

Полимер намуналарининг 297 К ҳарорат ва 0-1 В кучланиш оралиғида тўғри ва тескари ток ўтказувчанлик хоссалари ҳам ўрганилганда барча намуналарнинг тўғри ва тескари ток ўтказувчанлиги бир хил қийматларга эга эканлиги аниқланди (10-расм).



**10-расм. ПАНИ намуналарнинг тўғри ва тескари ток ўтказувчанлигининг вольт-ампер характеристикалари. 1, 2, 3-[Ox] концентрациялари мутаносиб ҳолда 0,0375; 0,05; 0,0625 моль/л. [Ani]=0,05 моль/л, T=297K.**

Бу ПАНИнинг эмеральдин туз шаклининг яримўтказувчи материал эканлигини кўрсатади.

Ишда шунингдек турли шароитларда синтез қилинган ПАНИнинг эмеральдин водород хлоридли туз шакли ва унинг металл оксидлари билан ҳосил қилган композицияларининг электронларнинг валент зонани ташлаб (тирқишлар ҳосил бўлиши) ўтказувчанлик зонасига ўтиши учун керак бўладиган энергия миқдори, яъни ўтказувчанликнинг фаолланиш энергиялари қийматлари ҳам ҳисоблаб топилди (6- ва 7-жадваллар).

**6-жадвал**

**ПАНИ•НСI намуналарининг электр токи ўтказувчанлиги бўйича фаолланиш энергиялари ва солиштирма электр ўтказувчанлик қийматлари (U=0,4 В)**

№	[Ani]:[Ox] моль/л	Е, эВ	Е, эВ	Сол. электр ўтказувчанлик, См/см	
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>
1	1,00:0,75	0,144	0,100	8,50	5,50
2	1,00:1,00	0,090	0,060	52,30	23,02
3	1,00:1,25	0,120	0,210	13,20	8,65

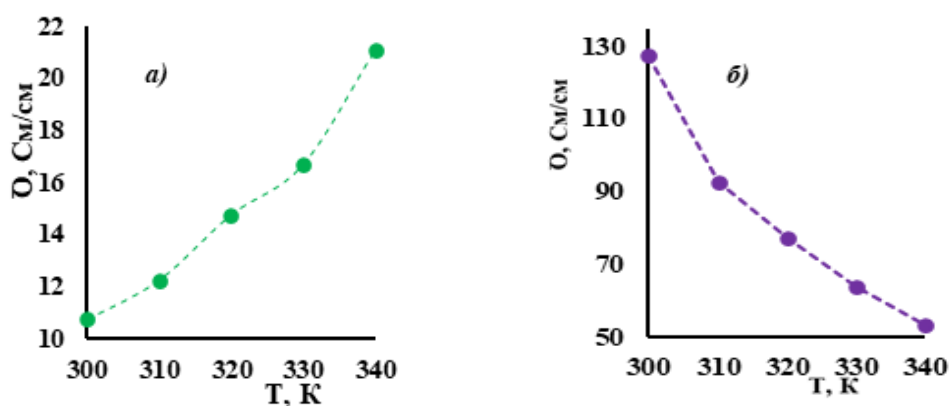
**7-жадвал**

**ПАНИ/MeO таркибли полимер композитларнинг электр токи ўтказувчанлиги бўйича фаолланиш энергиялари ва солиштирма электр ўтказувчанлик қийматлари (U= 0,4 В)**

№	ПАНИ таркибидаги MeO, масса %	Е, эВ	Е, эВ	Сол. электр ўтказувчанлик, См/см	
		ZnO	TiO <sub>2</sub>	ZnO	TiO <sub>2</sub>
1	0	0,210	0,210	13,200	13,200
2	5	0,200	0,092	12,600	2,300
3	10	0,150	0,090	26,100	2,600
4	15	0,187	0,120	31,500	22,300
5	20	0,200	0,070	148,600	2,800
6	25	0,170	-	84,100	0,003

Жадваллардан кўриниб турибдики, полимер ва композиция намуналарининг солиштирма электр токи ўтказувчанлиги ортиб бориши билан уларнинг электр ўтказувчанлигининг фаолланиш энергиялари мос равишда камайиб бормоқда. Бу ПАНИнинг эмеральдин туз шаклини синтез қилиш шароитларини, композицияларнинг таркиби ва ундаги компонентлар турини ўзгартириш орқали олинган материалларнинг солиштирма электр ўтказувчанлигини мақсадли равишда ўзгартириш имкони мавжуд эканлигини кўрсатади.

ПАНИ ва металл оксидлари асосида олинган композиция намуналарнинг электр ўтказувчанлигига ҳарорат таъсири аниқланди. Натижада, полимер композит таркибига киритилган ZnO заррачаларининг миқдори масса бўйича 15% дан юқори бўлиши билан уларнинг яримўтказувчанлик хоссаси йўқолиб металлларга хос хусусиятлар номоён бўлади.



**11–расм. ПАНИ/ZnO асосидаги композицияларнинг солиштирма электр ўтказувчанлигининг ҳароратга боғлиқлик графиги:**

**а) ZnO 10%, б) ZnO 20%**

Тадқиқотлар давомида ишда олинган полимер материалларнинг электр ўтказувчанлик типи ҳам аниқланди. Натижада ПАНИнинг эмеральдин тузи асосидаги полимер материаллар «п»-тип, ПАНИ ва унинг металл оксидлари билан ҳосил қилган композицион материаллар эса «р»-типли электр ўтказувчанлик хоссасини намоён қилувчи материаллар эканлиги аниқланди.

Диссертациянинг «**Полимер материаллар синтези, уларнинг физик-кимёвий ва электрофизик хоссаларини тадқиқ қилиш услублари**» деб номланувчи **тўртинчи бобида** қўлланилган реакцияларда ишлатилган реактивларнинг тавсифи, ПАНИ асосидаги ток ўтказувчи полимер материалларнинг олиш усуллари ва уларнинг физик-кимёвий ҳамда электрофизик хоссаларини ўрганишда қўлланилган тадқиқот услублари келтирилган.

## ХУЛОСАЛАР

1. Турли оксидловчилар иштирокида анилиннинг сувли эритмаларда оксидланишли полимерланиши тадқиқ қилиниб, анилиннинг полимерланиш унуми оксидловчининг оксидланиш-қайтарилиш потенциалига боғлиқ эканлиги аниқланди. Натижада, анилинни полимерлашда фойдаланилган

оксидловчи тури ҳамда унинг эритмадаги концентрациясини ўзгартириш орқали олинган полимерларнинг электрофизик хоссаларини ўзгартириш имконияти борлиги кўрсатиб берилди.

2. Анилиннинг сувли эритмаларда персульфатлар иштирокида катион полимерланиш кинетикаси ўрганилиб полимерланиш тезлигининг умумий тенгламаси келтириб чиқарилди, ҳамда жараёнларнинг фаолланиш энергиялари ҳисоблаб топилди. Ҳароратининг ўзгариши анилиннинг полимерланиш механизмига таъсир қилиши кўрсатиб берилди ва унинг турли ҳароратларда полимерланиш механизмлари таклиф қилинди.

3. Полианилиннинг ZnO билан турли таркибга эга бўлган полимер композициялари синтез қилиниб, полимер таркибига ушбу металл оксидининг киритилиши олинган материалларнинг электрофизик хоссаларига қандай таъсир қилиши ўрганилган. Натижада, материал таркибида ZnO нинг миқдори масса бўйича 15% гача бўлганида улар яримўтказувчиларга, ундан юқори бўлганида эса металлларга хос бўлган электр токи ўтказувчанлик хусусият эга бўлиши кўрсатиб берилган.

4. Полианилин ҳамда у асосидаги композицион материалларнинг морфологияси ва термик хусусиятлари ўрганилган. Материалларнинг термодеструкциясининг кинетик параметрлари ҳисоблаб топилган. Полианилиннинг эмеральдин туз шакли структурасида кристалл ва аморф ҳудудлар мавжуд эканлиги аниқланиб, полимер таркибига металл оксидларини киритилиши унинг кристаллик даражаси ҳамда солиштирма электр ўтказувчанлигини ортига олиб келиши кўрсатиб берилган.

5. Полианилиннинг эмеральдин туз шакли ҳамда уни ZnO ва  $\text{TiO}_2$  билан композицияларининг вольт-ампер характеристикалари, электр токи ўтказувчанлик бўйича фаолланиш энергиялари аниқланган. Полианилиннинг эмеральдин туз шаклининг электр ўтказувчанлиги « $p$ » турдаги, унинг металл оксидлари билан композициялари эса « $n$ » турдаги ўтказувчи материалларга кириши аниқланган.

6. Полианилин асосидаги композит материалларни сақлаш, ундан фойдаланиш ва бошқа кўрсаткичларининг техникавий шартлари ишлаб чиқилган. Полимер композицияларни амалий аҳамияти қайта зарядланувчи батареялар ва суперконденсаторларни электрод материалларининг таркибий компонентлари, турли антистатик композициялар тайёрлашда қўшимчалар сифатида фойдаланиш мумкинлиги, автоматика ва назорат ўлчов асбоб-ускуналарида контакт ва ток ўтказувчи элементлари сифатида фойдаланишга жорий қилиниши билан изоҳланади.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПРИ НАУЧНОМ СОВЕТЕ  
DSc.03/30.12.2019.K.01.03 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

---

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА**

**АБДУЛЛАЕВА НИГОРА НУРИДДИНОВНА**

**ТОКОПРОВОДЯЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИАНИЛИНА**

**02.00.06 – Высокомолекулярные соединения**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ХИМИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2022**

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2020.4.PhD/K339.

Диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана.

Автореферат диссертации на трех языках [узбекский, русский, английский (резюме)] размещен на веб-странице по адресу [www.ik-kimyo.nuu.uz](http://www.ik-kimyo.nuu.uz) и информационно-образовательном портале «ZiyoNET» по адресу [www.ziyo.net](http://www.ziyo.net).

**Научный руководитель:**

**Махкамов Музаффар Абдугаппарович**  
доктор химических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Рафиков Адхам Салимович**  
доктор химических наук, профессор

**Жураев Мурод Махмаражаб угли**  
доктор философии по химическим наукам

**Ведущая организация:**

**Ташкентский химико-технологический институт**

Защита диссертации состоится «28» октября 2022 г. в 11<sup>00</sup> часов на заседании разового Научного совета на основе Научного совета DSc.03/30.12.2019.K.01.03 при Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100174, Ташкент, ул. Университетская 4, тел.: (+99871) 227-12-24; факс: (+99824) 246-53-21; 246-02-24. e-mail: chem0102@mail.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального университета Узбекистана (зарегистрирован № 116). Адрес: 100174, г.Ташкент, ул.Университетская, 4. Тел.:(+99871) 227-12-24; факс: (99824) 246-02-24.

Автореферат диссертации разослан «13» октября 2022 года.

(протокол рассылки № 18 от «13» октября 2022 года).

**З.А.Сманова**

Председатель разового научного совета по  
присуждению учёной степени доктора наук,  
д.х.н., профессор

**Д.Ж.Бекчанов**

Ученый секретарь разового научного совета по  
присуждению учёной степени доктора наук,  
д.х.н., доцент

**М.Г.Мухамедиев**

Председатель разового научного семинара при научном  
совете по присуждению учёной степени доктора наук,  
д.х.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире полимерные материалы с электропроводностью широко используются в электролюминесцентных диодах, пленочных транзисторах, датчиках, электронных дисплеях, элементах цифровой памяти и логических устройствах, солнечных элементах, медицинских диагностических и аналитических устройствах требующих высокой точности, твердотельных аккумуляторных батарей и другом оборудовании.

На сегодняшний день в результате развития электронных технологий в мировом масштабе изучение кинетики и механизмов процессов получения полимеров со свойствами характерных полупроводников, создание на их основе новых композиций, исследование их химических, физических, физических -химические свойства имеет большое научное значение.

В последние годы в нашей стране особое внимание уделяется решению проблемы по внедрению в практику изделий на основе полупроводниковых полимерных композиционных материалов для замены импортируемых. Проводятся работы по получению различных транзисторов, ионопроводящих материалов, датчиков чувствительных к пьезосопротивлению, солнечных батарей, аккумуляторных электродов, покрытий для защиты металлов от коррозии и других материалов. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан<sup>1</sup> определены важные задачи «производства готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на основе глубокой переработки местного сырья, разработки принципиально новых продуктов и технологий, обеспечивающих тем самым конкурентоспособность национальных товаров на внутреннем и зарубежных рынках». В связи с этим важным является получение полимерных композиционных материалов с ионными и электронно-проводящими свойствами, определение их свойств и областей применения, а также практическое применение в различных областях.

Данное диссертационное исследование в определённой степени способствует выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана», Постановлениями Президента Республики Узбекистан от 29 августа 2017 года № ПП-3246 «О мерах по совершенствованию экспортно-импортной деятельности организаций химической промышленности» и от 12 августа 2020 года № ПП-4805 «О мерах по повышению качества непрерывного образования и результативности науки по направлениям химии и биологии», а также других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики.** Данное исследование

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики Узбекистан VII «Химическая технология и нанотехнологии».

**Степень изученности проблемы.** Первые исследования физико-химических свойств ионно- и электропроводящих полимерных материалов на основе полианилина связаны с такими учеными, как лауреаты Нобелевской премии С.Fritzsche (Германия), A.MarcDiarmid и A.Heeger (США). Одним из первых систематических исследований существующих форм полианилина и методов их допирования различными допандами проводились A.MarcDiarmid и его научной группой. Я.Стежескал (Чехия) и И.Л.Сапурина (Украина) являются учеными, которые внесли большой вклад в развитие теории полимеризации анилина в присутствии химических окислителей. Широкомасштабные научные исследования в области изучения механизма и кинетики катионной полимеризации анилина в водных растворах в присутствии химических окислителей проведены Я.Межуевым, Ю.Коршаком, А.Шишкиной (Россия), которые внесли огромный вклад в развитие данного направления.

Исследования механизма проводимости полианилина в нашей стране одними из первых начаты такими учеными физиками как А.Мамадалиев, Ш.Темирова. Особое значение имеют научные исследования в области синтеза и исследования свойств полианилина и его композиций таких химиков, как А.Джалилов, А.Набиев, Д.Каримова, Э.Джумаева, Х.Тураев, М.Махкамов.

Несмотря на то, что исследования по изучению полимеризации анилина ведутся уже много лет, в данной области остается еще много нерешенных проблем, к примеру, до сих пор до конца не раскрыт механизм полимеризации анилина, недостаточно глубоко изучена взаимосвязь между условиями синтеза полимеров и их электрофизическими свойствами.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Национального университета Узбекистана в рамках фундаментального проекта №F-OT-2021-291 «Электрохимические и электрофизические основы получения нанокompозитных полимерных покрытий» (2021-2026 гг.).

**Целью исследования** является определение кинетики и механизма окислительной полимеризации анилина в водных растворах, а также, физико-химических и электрофизических материалов на основе полианилина.

**Задачи исследования:**

определение влияния природы окислителей и среды раствора на окислительную полимеризацию анилина в водных растворах;

исследование кинетики и механизма катионной полимеризации анилина в водном растворе;



получение токопроводящих полимерных композиций полианилина с ZnO и TiO<sub>2</sub> и исследование их физико-химических свойств;

изучение морфологии и физико-химических свойств полученного полианилина и композиций на его основе;

определение влияния условий синтеза полианилина и количества оксидов металлов в составе композиций на его основе на физико-химические и электрофизические свойства полученных материалов;

определение областей практического использования полученных в работе полимеров и композиций.

**Объектами исследования** являются полианилин и его токопроводящие полимерные композиции с ZnO и TiO<sub>2</sub>.

**Предметом исследования** является определение кинетики и механизма окислительной полимеризации анилина в водных растворах, физико-химических и электрофизических характеристик полианилина и его полимерных композиций с оксидами металлов.

**Методы исследования.** Сканирующая электронная микроскопия, ИК-, Рамановский спектроскопии, рентгенофазовый анализ, термогравиметрический и дифференциально-термический анализ, вольт-амперометрия, потенциометрия и другие современные методы исследования.

#### **Научная новизна:**

определением кинетических параметров процесса полимеризации анилина в водных растворах, суммарной энергии активации, порядков реакции по мономеру и окислителю доказано, что полимеризация анилина в присутствии персульфатов при низких температурах протекает по катионному механизму, а при высоких температурах-по радикальному механизму;

доказано, что введение допантов в состав полианилина ускоряет процесс его термохимической деструкции и приводит к снижению ее общей энергии;

определена взаимосвязь между электропроводностью полученных полимерных и композиционных материалов с условиями их получения, природой и количеством допанта;

впервые доказано, что полимерные композиции полианилина с ZnO содержащем в последних до 15 мас.% обладают свойствами, характерными для полупроводников, а при их более высоком содержании-высокой электропроводностью, характерной для металлов;

впервые установлено, что по электропроводности эмеральдиновая форма соли полианилина относится к «*p*»-типу, а композиции, содержащие ZnO и TiO<sub>2</sub> относятся к «*n*»-типу полупроводниковых материалов.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

определены условия получения, хранения и применения электропроводящих полимеров и композитов на основе полианилина;

установлено, что материалы на основе полианилина могут быть использованы в качестве компонентов электродных материалов для аккумуляторных батарей и суперконденсаторов, в качестве добавок при приготовлении различных антистатических композиций, а также в качестве

контактных и токопроводящих элементов в автоматических и контрольно-измерительных (КИПиА) оборудовании.

**Достоверность результатов исследований** обосновывается применением таких физико-химических методов как сканирующая электронная микроскопия, ИК- и Рамановская спектроскопии, рентгенофазовый анализ, ТГ и ДТГ анализы, вольт-амперная характеристика, потенциометрия и различные химические методы исследования структуры и свойств вещества.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования обосновывается тем, что изучением синтеза анилина в присутствии персульфатов в водных растворах определены кинетические параметры процесса, а полученные результаты к расширению теоретических знаний о механизме полимеризации анилина;

Практическая значимость результатов исследований обосновывается тем, практическими испытаниями подтверждено, что синтезированных новые токопроводящие полимерные материалы соответствуют по их физическим параметрам требованиям мировых стандартов для полупроводниковых материалов.

**Внедрение результатов исследования.** На основе получения электропроводящих материалов на основе полианилина, а также изучения их физических и физико-химических свойств:

организационный стандарт на синтез композиционных материалов на основе полианилина, утвержден Организацией санитарно-эпидемиологического надзора и здравоохранения Республики Узбекистан (Ts 200845944-01:2021). Результаты дали возможность создать стандартные условия производства, хранения и использования полимеров на предприятиях;

электрофизические параметры электропроводящих полимерных композитов на основе полианилина исследованы в АО «Фотон» (справка №04-3/352 АО «Фотон» от 3 марта 2022 года). В результате аккумуляторы и суперконденсаторы позволили использовать их в качестве конструктивных компонентов электродных материалов, добавок при приготовлении различных антистатических композиций;

электропроводящие полимерные композиты на основе полианилина испытаны ОАО «Электрохимический завод» в лаборатории отдела автоматики и контрольно-измерительной техники и контрольно-измерительных приборов (КИПиА) (справка №123 ОАО СП «Электрохимзавод» от 17 мая 2022 года). В результате показано, что токопроводящие полимерные материалы на основе полианилина могут быть использованы в качестве контактных и токопроводящих элементов.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования докладывались и обсуждались на 10, в том числе 3 международных и 7 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.**

По материалам диссертационной работы опубликовано 14 научных работ, 4 статьи, в том числе 2 в республиканских и 2 международных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации составляет 105 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** Обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект, предмет и методы исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, приведена степень изученности проблемы, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены краткие сведения о внедрении результатов, представлены результаты апробации работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

**В первой главе** диссертации «**Материалы на основе полианилина и их свойства**» рассмотрены и проанализированы получение, применение, физико-химические свойства полианилина (ПАНИ) и способы получения полимерных композиций на его основе, особенности данных материалов, перспективы их использования. На основе анализа имеющихся теоретических и экспериментальных данных сформулирована постановка задачи, обоснованы актуальность и значимость темы, приведено заключение о необходимости синтеза электропроводящих полимерных материалов на основе ПАНИ с целью применения их в различных областях производства.

**Во второй главе** «**Исследование процесса окислительной полимеризации анилина в водных растворах и получение композиций полианилина с некоторыми оксидами металлов**» представлены данные исследований о полимеризации анилина в водных растворах в присутствии различных окислителей, факторах, влияющих на данный процесс, а также получении полимерных композиций ПАНИ с ZnO и TiO<sub>2</sub>.

Синтез ПАНИ осуществлен полимеризацией анилина (Ani) в водном растворе в присутствии различных окислителей (Ox). В качестве окислителей использовались такие химические соединения как H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, HClO<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. Показано, что использование всех вышеперечисленных окислителей приводит к полимеризации анилина, при этом образующийся полимер не растворяется в водном растворе, поэтому процесс протекает в гетерогенной фазе. При исследованиях установлено, что на выход полимера существенное влияние оказывает тип окислителей и их концентрация в растворе (табл. 1).

Таблица 1

Влияние типа окислителя и мольного соотношения  $[Ani]:[Ox]$  в реакционной смеси на выход полимера (Модуль ванны 30:1,  $T=297\text{ K}$ ,  $t=24\text{ часа}$ )

[Ox]	Окс. пот., В	[Ani]:[Ox]	Выход полим., %	[Ox]	Окс. пот., В	[Ani]/[Ox]	Выход полим., %
$FeCl_3$	0,77	1,00:0,75	10	$K_2Cr_2O_7$	1,36	1,00:0,75	12
		1,00:1,00	20			1,00:1,00	38
		1,00:1,25	24			1,00:1,25	40
$K_2S_2O_8$	2,01	1,00:0,75	30	$H_2O_2$	1,78	1,00:0,75	18
		1,00:1,00	60			1,00:1,00	40
		1,00:1,25	76			1,00:1,25	44
$(NH_4)_2S_2O_8$	2,06	1,00:0,75	39	$HClO_3$	1,45	1,00:0,75	12
		1,00:1,00	70			1,00:1,00	28
		1,00:1,25	84			1,00:1,25	32

Как видно из приведенных данных табл. 1, выход полимера возрастает с увеличением окислительно-восстановительного потенциала окислителя при полимеризации анилина и что при использовании  $(NH_4)_2S_2O_8$  и  $K_2S_2O_8$  в качестве окислителей наблюдается более высокий выход полимера по сравнению с другими окислителями. Поэтому в дальнейшем для получения полианилина и полимерных композиций на его основе использовались только данные окислители. При исследованиях выявлено, что мольное соотношение  $[Ani]:[Ox]$  в реакционной смеси также оказывает существенное влияние на выход полимера, при этом наиболее высокие значение наблюдается при соотношении 1,00 к 1,25.

Идентификацию синтезированных эмеральдинового основания и соли ПАНИ проводили анализом их ИК-Фуре- и Рамановских спектров (рис. 1).

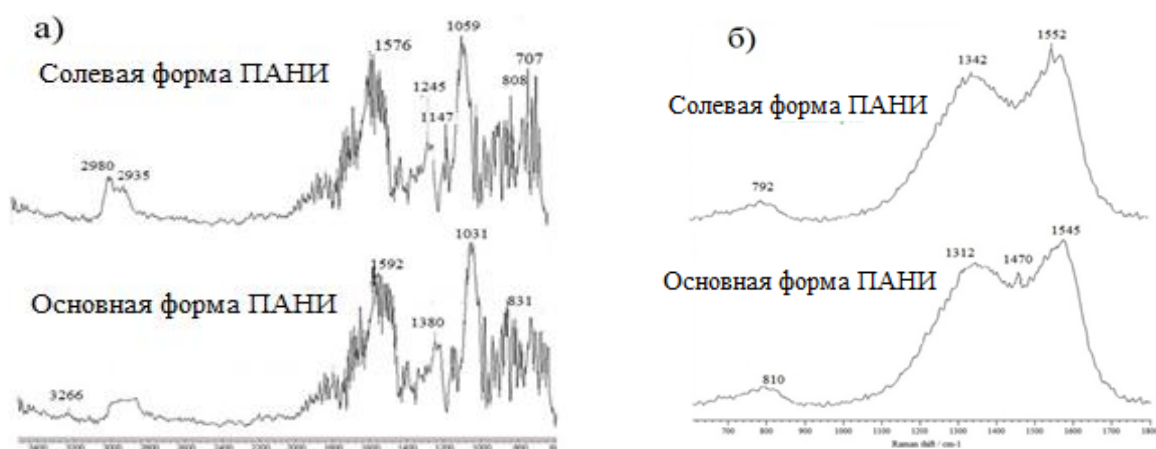


Рис.1. ИК- (а) и Рамановские (б) спектры эмеральдинового основания и соли ПАНИ

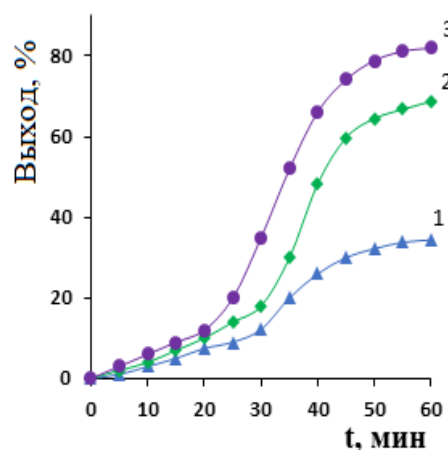
Пики, наблюдаемые в ИК-спектре основной формы ПАНИ при  $3266\text{ см}^{-1}$  характерны для  $-\text{NH}-$  групп, присоединенных к ароматическим кольцам в полимерной цепи. Пик в области  $2980\text{ см}^{-1}$  в ИК-спектре солевой формы ПАНИ характерен для протонированных иминных  $-\text{NH}^+=$  групп. Пики, характерные для связи  $\text{C}=\text{C}$ , содержащейся в хиноидной и бензоидной формах полимерной цепи, для эмеральдинового основания наблюдается в области  $1592\text{ см}^{-1}$ , а для соли  $1576\text{ см}^{-1}$ . Пик при  $1380\text{ см}^{-1}$  в спектре, соответствующий основной форме полимера, характерен для колебаний связей  $\text{C}_{\text{бенз}}-\text{N}=\text{C}_{\text{кольцо}}$ . Пик при  $1245\text{ см}^{-1}$  в спектре солевой формы полимера обусловлен колебанием его  $\text{C}\sim\text{N}^{+\bullet}$  поляризованной связи (двойной или простой).

Пики в областях  $1545\text{ см}^{-1}$  (основная форма полимера) и  $1552\text{ см}^{-1}$  (солевая форма полимера) в Рамановских спектрах ПАНИ характерны для  $\text{C}=\text{C}$ - групп (в бензоидной и хиноидной формах). Группы  $-\text{C}=\text{N}-$  в полимерной цепи образуют пики рассеяния в областях  $1342\text{ см}^{-1}$  (солевая форма полимера) и  $1312\text{ см}^{-1}$  (основная форма полимера) соответственно. Пик  $1470\text{ см}^{-1}$  соответствуют  $\text{C}=\text{N}$  связи эмеральдинового основания, при этом наблюдается смещения пиков полярной связи  $\text{C}-\text{N}$  солевой формы в относительно более высокую область  $1342\text{ см}^{-1}$ .

Эмеральдиновая формы основания ПАНИ имеет фиолетовый, а соли - темно-зеленый цвет, что также полностью согласуется с литературными данными.

Эмеральдиновые формы основания и соли ПАНИ представляют собой порошкообразные вещества, нерастворимые в воде и большинстве органических растворителей. В ходе исследований установлено, что они ограничено растворяются в N-метилпирролидоне и концентрированной серной кислоте (в пределах 0,5-5%). Так как ПАНИ растворяется в данных растворителях с образованием комплексов, нет возможности определения молекулярно-массовых характеристик полимера в данных растворах.

Кинетику полимеризации анилина в водных растворах в присутствии  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  изучали при  $273\text{ К}$ .



**Рис.2. Зависимость выхода полимера при полимеризации анилина в водных растворах в присутствии  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  от продолжительности реакции. 1-0,2Н аммиак (pH-10); 2-дистиллированная вода (pH-6,5); 3-0,1Н НСl (pH-1,0).  $T=273\text{ К}$ .**

Установлено, что выход полимера при окислительной полимеризации анилина в присутствии  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  и  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  в водном растворе возрастает с

увеличением продолжительности реакции. Исследования показали, что значение рН среды реакционной смеси сильно влияет на выход полимера, при этом его наибольшее значение наблюдается в кислых средах. Также выявлено, что процесс полимеризация анилина протекает с автоускорением. Полученные результат относятся также к полимеризации анилина в кислых и щелочных растворах.

Результаты исследования влияния температуры реакционной смеси на окислительную полимеризацию анилина представлены в табл.2.

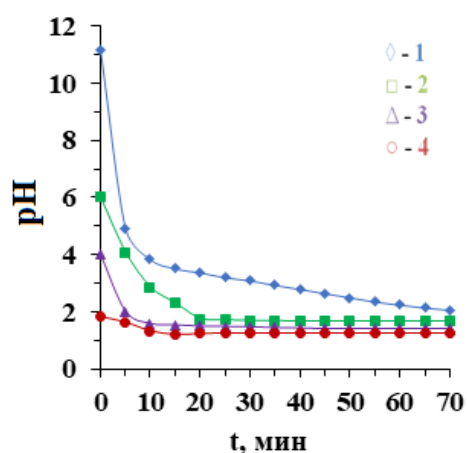
**Таблица 2**

**Влияние мольного соотношения [Ani]:[Ox] в реакционной смеси и температуры на выход ПАНИ ([HCl]= 0,1 моль/л, [Ani]- $5,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л, t=22 час)**

Концентрация [Ox], 10 <sup>-2</sup> моль/л	Выход, X%		
	273К	283К	297К
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub></b>			
2,50	24,50	19,80	18,20
3,75	42,20	41,20	39,20
5,0	81,50	68,50	59,70
6,25	88,10	76,80	76,80
<b>K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub></b>			
2,50	22,50	21,60	18,90
3,75	38,80	34,40	31,60
5,0	76,50	62,80	60,60
6,25	86,10	77,70	72,20

Из таблицы видно, что с повышением температуры раствора снижается выход полимера, что характерно для полимеризации мономеров, протекающей по катионному механизму.

При изучении полимеризации анилина наблюдается снижение значения рН среды реакционного раствора (рис.3), что даёт возможность рассчитать значение конверсии мономера в зависимости от рН среды раствора.



**Рис.3. Изменение рН среды раствора при полимеризации анилина в присутствии (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> с увеличением продолжительности реакции. 1- 0,2М раствор аммиака; 2- дистиллированная вода; 3- 0,4М уксусная кислота; 4- 0,1М серная кислота.**

Поэтому скорость полимеризации анилина на начальных стадиях полимеризации рассчитывали на основании результатов, полученных определением изменения рН среды реакционной смеси. В результате

выведены общие уравнения скорости катионной полимеризации анилина в водном растворе в присутствии пероксидов. Данное уравнение имеет одинаковый вид для полимеризации анилина в присутствии обоих окислителей:

$$V=K*[Ox] \times [Ani]^{1,8}$$

Отличие порядка реакции по мономеру от теоретического второго при катионной полимеризации анилина можно объяснить тем, что реакция протекает не только за счет катионной полимеризации, но и в определенной степени и за счет радикальной полимеризации.

В работе также изучена кинетика катионной полимеризации анилина при различных температурах и рассчитаны значения некоторых кинетических параметров процесса (табл. 3 и 4).

**Таблица 3**

**Кинетические параметры окислительной полимеризации анилина в присутствии  $(NH_4)_2S_2O_8$   
[Ani]=0,05 моль/л, [Ox]=0,05 моль/л**

Т, К	$V \cdot 10^5$ , моль/л·с	$K_m \cdot 10^5$	$E$ , кДж/моль
273	5,33	1,94	6,07
283	4,53	1,65	
297	4,33	1,58	

**Таблица 4**

**Кинетические параметры окислительной полимеризации анилина в присутствии  $K_2S_2O_8$   
[Ani]=0,05 моль/л, [Ox]=0,05 моль/л**

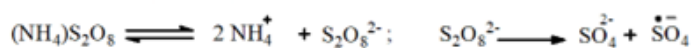
Т, К	$V \cdot 10^5$ , моль/л·с	$K_m \cdot 10^5$	$E$ , кДж/моль
273	4,98	1,82	15,03
283	4,04	1,48	
297	2,93	1,07	

Из данных, представленных в табл. 3 и 4, видно, что скорость катионной полимеризации анилина в водных растворах в присутствии  $(NH_4)_2S_2O_8$  выше, чем  $K_2S_2O_8$ , что можно объяснить меньшим значением общей энергии активации процесса. Значения общей энергии активации полимеризации анилина в присутствии обоих окислителей значительно ниже по сравнению наблюдаемых при радикальной полимеризации, они соответствуют энергиям активации при ионной полимеризации.

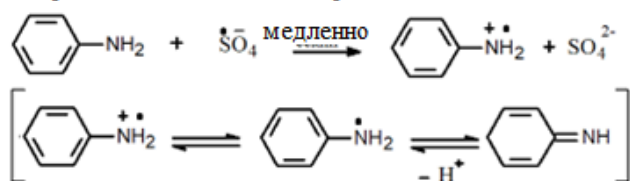
Для выяснения механизма окислительной полимеризации анилина была изучена его полимеризация в интервале температур 273-343К при использовании  $(NH_4)_2S_2O_8$  и гидрохинона (пара-дигидроксибензола,  $S_6H_6O_2$ ) в качестве ингибитора радикальной полимеризации. В результате было выявлено, что при отсутствии ингибитора в исследованном интервале

температур наблюдается полимеризация анилина, но в присутствии ингибитора его полимеризация происходит только до температуры 323 К, что свидетельствует о том, что окислительная полимеризация анилина протекает по катионному механизму до 323 К, а при более высоких температурах - по радикальному. На основании полученных результатов и анализа научной литературы предложен следующий механизм для окислительной полимеризации анилина в водных растворах в присутствии персульфатов:

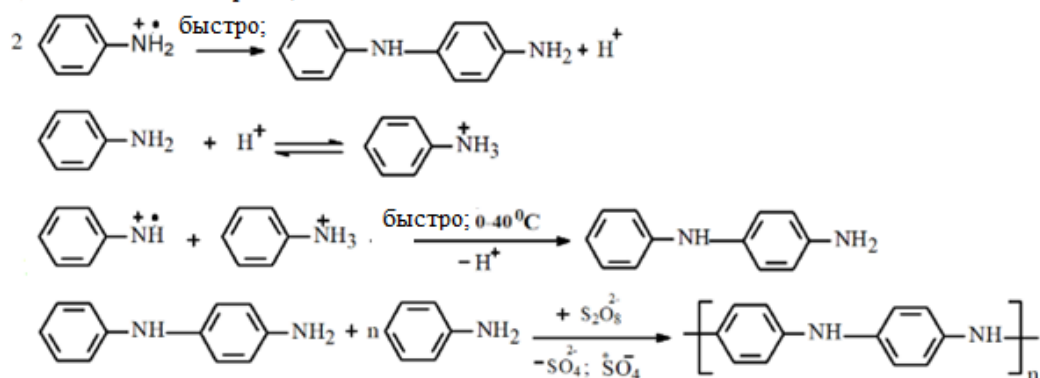
Разложение персульфатов:



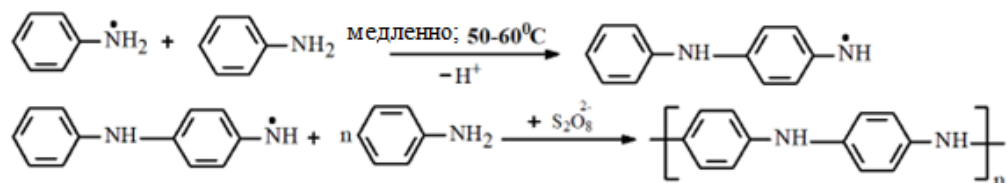
Образование активного центра:



Катионная полимеризация:



Радикальная полимеризация:



Из предлагаемых механизмов следует, что до 323 К анилин полимеризуется по катионному механизму за счет образования катион-радикальных активных центров, а выше данной температуры по радикальному механизму за счет образования свободных радикалов.

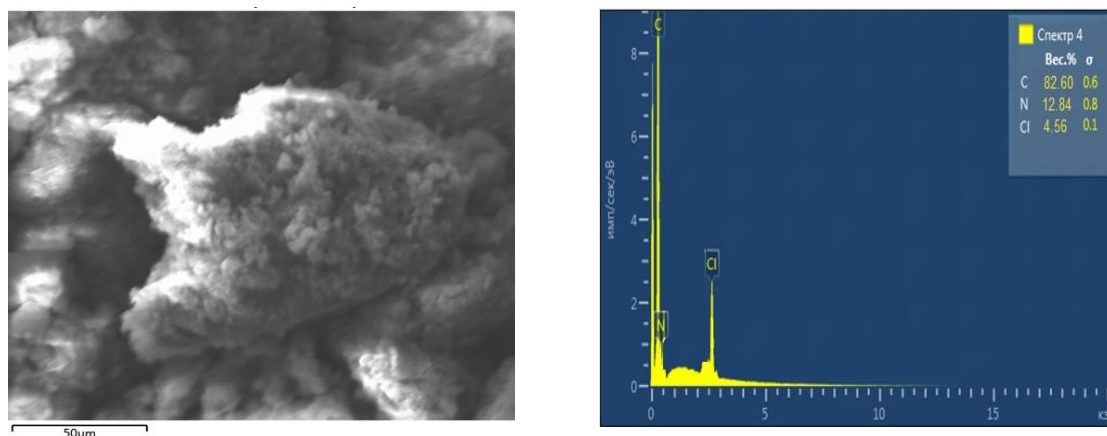
В работе также получены полимерные композиции, содержащие до 25 масс % ZnO и TiO<sub>2</sub>, для определения влияния включения данных оксидов металлов на электрофизические свойства материалов на основе ПАНИ. Полимерные композиции получали полимеризацией анилина в суспензии, содержащей частицы оксидов металлов. Строение полимерных композиций идентифицировали методами ИК- и Рамановской спектроскопии. В результате было установлено, что между компонентами полимерной композиции существуют лишь слабые электростатические связи.

В третьей главе диссертации «Физико-химические и электрофизические свойства полимерных материалов на основе



**полианилина»** изучены физико-химические и электрофизические свойства синтезированных в работе эмеральдиновых форм соли и основания ПАНИ и их полимерных композиций с ZnO и TiO<sub>2</sub>, и на основе полученных результатов были выведены научные выводы.

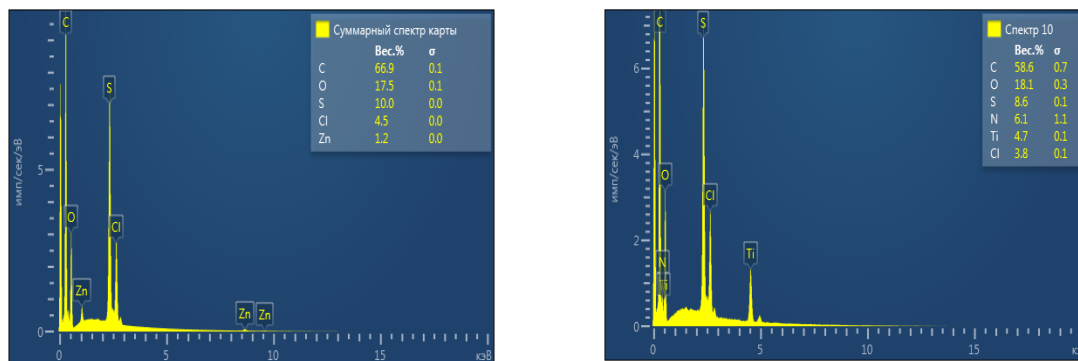
Так как эмеральдиновая соль и основание ПАНИ являются твердыми порошкообразными веществами сперва были изучены их поверхностная структура. Для этого получены СЭМ-микрофотографии их образцов, которые показали, что поверхность данных веществ имеет пористую структуру. Путем получения энергодисперсионных спектров образцов полимеров с помощью СЭМ-микроанализатора были определены элементный состав их поверхностных слоев.



**Рис.4. СЭМ микрофотография (а) и энергодисперсионный спектр (б) образцов ПАНИ·НСІ**

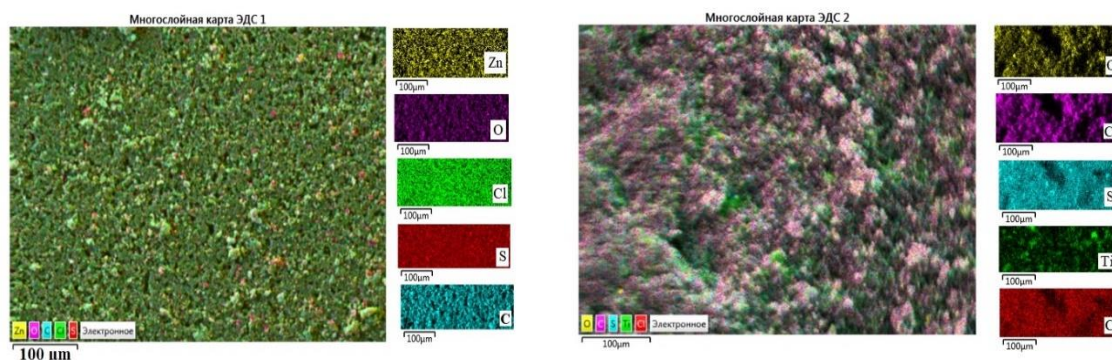
Элементные составы, рассчитанные на основе энергодисперсионных спектров полимеров служит еще одним доказательством их строения.

В работе исследована поверхностная структура эмеральдиновой соли ПАНИ и его полимерных композиций с оксидами металлов с помощью анализа их СЭМ микрофотографий. На основе энергодисперсионных спектров поверхностного слоя материалов определены их элементные составы (рис.5).



**Рис.5. Энергодисперсионные спектры образцов композиций ПАНИ/ZnO (а) и ПАНИ/TiO<sub>2</sub> (б)**

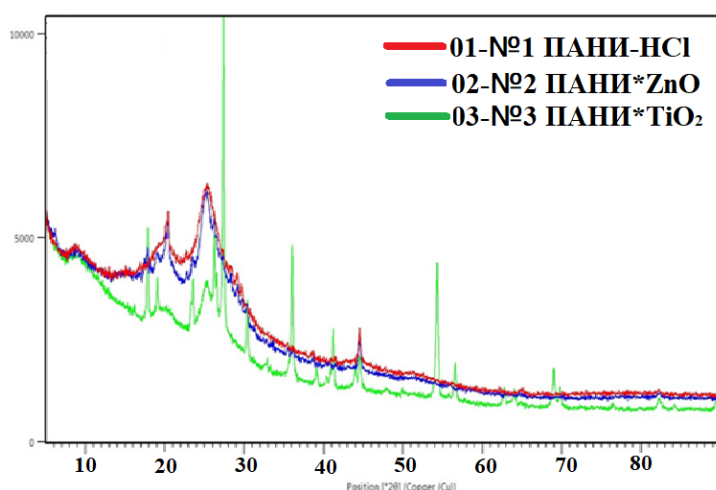
Для изучения распределения оксидов металлов в составе полимерных композиций были сняты карты энергодисперсионных спектров образцов данных композиций (рис. 6).



**Рис.6. Карты распределения элементов в составе композиций ПАНИ•ZnO (а) и ПАНИ•TiO<sub>2</sub> (б)**

Из энергодисперсионных карт, приведенных на рис.6 видно равномерное распределение частиц ZnO и TiO<sub>2</sub> в составе композиций.

Для изучения фазовой структуры полученных полимеров и композиций были проведен рентгенофазовые анализы их образцов (рис. 7).



**Рис.7. Рентгеновские дифрактограммы полимерных материалов на основе ПАНИ**

Из дифрактограмм рентгенофазового анализа эмеральдиновой соли ПАНИ видно, что в ее структуре имеются кристаллические участки. Введение в состав данного полимера частиц ZnO приводит к незначительному, а частиц TiO<sub>2</sub> более заметному повышению степени кристалличности композитов.

В работе также проведены термические анализы эмеральдиновой соли (ПАНИ•HCl) и основания ПАНИ, а также композиции ПАНИ•HCl с ZnO. При этом установлено, что эмеральдиная основная форма ПАНИ является самой устойчивой к термической деструкции, которая начинается при 590 К. Введение допанта HCl и частиц ZnO в состав полимера приводит к уменьшению их температур термодеструкции соответственно до 549 и 561 К. На основе результатов термического анализа рассчитаны некоторые

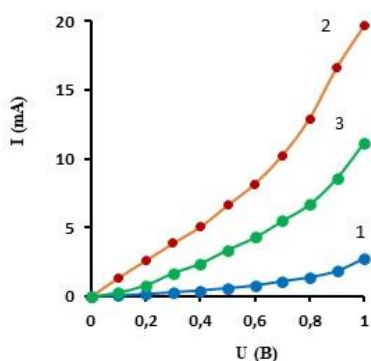
кинетические параметры термодеструкции полимерных и композиционных материалов (табл. 5).

**Таблица 5**

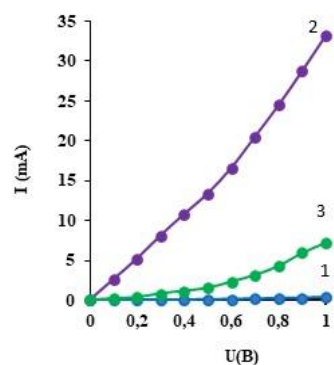
**Кинетические параметры процесса термодеструкции материалов на основе ПАНИ**

Образец	$K_0 \times 10^5, c^{-1}$	$E, \text{кДж/моль}$
Эмеральдиновое основание ПАНИ	8,20	45,50
Эмеральдиновая соль (HCl) ПАНИ	0,15	11,20
Композиция ПАНИ/ZnO	1,50	44,80

Поскольку одной из задач работы являлась изучение зависимости электропроводности полимеров от условий их синтеза, были изучены вольт-амперные характеристики, т.е. определена сила тока, проходящего через материал в диапазоне напряжений 0-1 В, эмеральдиновых форм ПАНИ и их композиций с ZnO и TiO<sub>2</sub>. Предварительные исследования показали, что удельная электропроводность эмеральдинового основания ПАНИ очень мала и близка к значениям диэлектрических материалов. Поэтому в ходе исследований изучались вольт-амперные характеристики только эмеральдиновой соли ПАНИ (допированная HCl) и композиций на ее основе. На рис. 8 и 9 представлены вольт-амперные характеристики образцов эмеральдиновой солевой формы ПАНИ, полученных при различных мольных соотношениях анилина и окислителя в реакционной смеси.



**Рис.8. Вольт-амперные характеристики образцов ПАНИ. 1, 2, 3-концентрация  $K_2S_2O_8$  соответственно равна 0,0375; 0,05; 0,0625 моль/л.  $[Ani]=0,05$  моль/л,  $T=297K$**

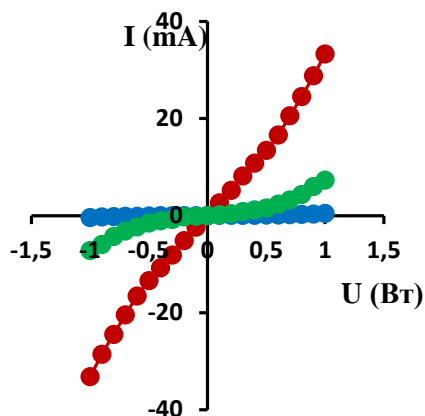


**Рис.9. Вольт-амперные характеристики образцов ПАНИ. 1, 2, 3 – концентрация  $(NH_4)_2S_2O_8$  соответственно равна 0,0375; 0,05; 0,0625 моль/л.  $[Ani]=0,05$  моль/л,  $T=297K$**

Полученные результаты показали, что самую высокую удельную электропроводность имеют образцы полимеров, полученные при мольном

отношении  $[Ani]/[Ox]=1$ . Также установлено, что электропроводность образцов полимеров, полученных с использованием  $(NH_4)_2S_2O_8$  в качестве окислителя, имеет более высокие значения.

При исследовании прямой и обратной токопроводимости образцов полимера при температура 297 К и в диапазоне напряжений 0-1 В было установлено, что их прямая и обратная токопроводимость имеют одинаковые значения (рис. 10).



**Рис.10.** Вольт-амперная характеристика прямой и обратной электропроводности образцов ПАНИ. 1, 2, 3-концентрации  $[Ox]$  соответственно 0,0375; 0,05; 0,0625 моль/л.  $[Ani]=0,05$  моль/л,  $T=297K$ .

Это указывает на то, что форма эмеральдиновая форма соли ПАНИ является полупроводниковым материалом.

В работе также рассчитаны значения энергии активации электропроводности образцов эмеральдиновой формы солянокислой соли ПАНИ, полученных при различных условиях и его композиций с оксидами металлов, которые показали количества энергии, необходимое для перехода электронов из валентной зоны (образование щелей) в зону проводимости (табл. 5 и 6).

**Таблица 6**

**Значения удельной электропроводности и энергии активации электропроводности образцов ПАНИ-НСI ( $U=0,4$  В)**

№	$[Ani]:[Ox]$ моль/л	Удельная электропроводность, См/см			
		Е, эВ $(NH_4)_2S_2O_8$	Е, эВ $K_2S_2O_8$	$(NH_4)_2S_2O_8$	$K_2S_2O_8$
1	1,00:0,75	0,144	0,100	8,50	5,50
2	1,00:1,00	0,090	0,060	52,30	23,02
3	1,00:1,25	0,120	0,210	13,20	8,65

**Таблица 7**

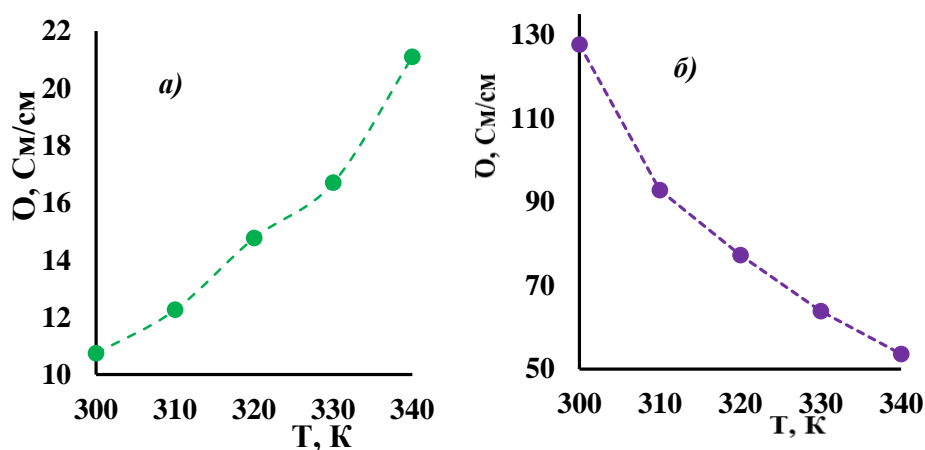
**Значения удельной электропроводности и энергии активации электропроводности полимерных композиций ПАНИ•MeO ( $U= 0,4$  В)**

№	Сод. MeO в составе ПАНИ, мас. %	Удельная электропроводность, См/см			
		Е, эВ ZnO	Е, эВ TiO <sub>2</sub>	ZnO	TiO <sub>2</sub>
1	0	0,210	0,210	13,200	13,200
2	5	0,200	0,092	12,600	2,300
3	10	0,150	0,090	26,100	2,600

4	15	0,187	0,120	31,500	22,300
5	20	0,200	0,070	148,600	2,800
6	25	0,170	-	84,100	0,003

Как видно из таблиц, с увеличением электропроводности образцов полимера и композита соответственно снижается энергия активации их электропроводности. Это свидетельствует о возможности целенаправленного изменения относительной электропроводности получаемых материалов изменением условий синтеза эмеральдиновой формы соли ПАНИ, состава и типа компонентов, входящих в их состав.

Изучено влияние температуры на удельную электропроводность композиций, полученных на основе ПАНИ и оксидов металлов. При этом выявлено, что увеличение содержания оксидов металлов в составе полимерного композита выше 15 мас.% по массе приводит к исчезновению в них свойств, характерных полупроводникам, а вместо них появляются свойства, характерные для металлов.



**Рис.11. График зависимости относительной электропроводности композиций на основе ПАНИ/ZnO от температуры:  
а) ZnO 10%, б) ZnO 20%**

В ходе исследований также определены типы электропроводности полученных полимерных материалов. В результате установлено, что полимерные материалы на основе эмеральдиновой соли ПАНИ относятся к «р» типу, а композиционные материалы, полученные на основе ПАНИ с оксидами металлов, являются полупроводниковыми материалами, обладающими свойствами электропроводности «n» типа.

В четвертой главе диссертации «Синтез полимерных материалов, методы исследования их физико-химических и электрофизических свойств» описаны характеристики реагентов, использованных в реакциях, методы получения токопроводящих полимерных материалов на основе ПАНИ, методики исследования, использованные при изучении их физико-химических и электрофизических свойств.

## ВЫВОДЫ

1. Исследована окислительная полимеризация анилина в водных растворах в присутствии различных окислителей и установлено, что выход полимера зависит от окислительно-восстановительного потенциала окислителя. В результате показана возможность изменения электрофизических свойств полученных полимеров изменением типа окислителя и его концентрации в растворе при полимеризации анилина.

2. Изучена кинетика катионной полимеризации анилина в присутствии персульфатов в водных растворах, выведено общее уравнение скорости полимеризации и рассчитаны энергии активации процессов. Показано, что изменение температуры влияет на механизм полимеризации анилина и предложены механизмы его полимеризации при различных температурах.

3. Синтезированы полимерные композиции полианилина с ZnO различного состава и изучено влияние введения данного оксида металла в состав полимера на электрофизические свойства полученных материалов. В результате было показано, что при содержании ZnO в материалах по массе до 15% они обладают свойством полупроводников, а при большем – электропроводящими свойствами, характерными для металлов.

4. Исследованы морфология и термические свойства полианилина и композиционных материалов на его основе. Рассчитаны кинетические параметры термодеструкции материалов. Определено наличие кристаллической и аморфной областей в структуре эмеральдиновой соли полианилина и показано, что введение оксидов металлов в структуру полимера приводит к повышению его степени кристалличности и удельной электропроводности.

5. Определены вольт-амперные характеристики и энергии активации электропроводимости эмеральдиновой соли полианилина и его композиций с ZnO и TiO<sub>2</sub>. Установлено, что эмеральдиновая соль полианилина относится по электропроводности к полупроводникам «*p*»-типа, а его комплексы с оксидами металлов к «*n*»-типу.

6. Разработаны технические условия хранения, применения и других эксплуатационных характеристик композиционных материалов на основе полианилина. Практическое значение полимерных композиций обосновывается возможностью их использования в качестве компонентов электродных материалов, перезарядных батарей и суперконденсаторов, добавок при получении различных антистатических композиций, а также внедрением в практику в качестве токопроводящих элементов и контактов в автоматических и контрольно-измерительных приборах.

**THE ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL BASED ON THE SCIENTIFIC  
COUNCIL FOR AWARDED SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.03/30.12.2019.K.01.03 AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF  
UZBEKISTAN**

---

**NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

**ABDULLAEVA NIGORA**

**CONDUCTING POLYMER MATERIALS BASED  
ON POLYANILINE**

**02.00.06 – High molecular compounds**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR  
OF PHILOSOPHY (PhD) ON CHEMICAL SCIENCES**

**Tashkent - 2022**

**The title of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) has been registered by the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number of B2020.4.PhD/K339.**

The dissertation was carried out at the National University of Uzbekistan.

The abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) is available online [ik-kimyo.nuu.uz](http://ik-kimyo.nuu.uz) and on the website of “ZiyoNET” information-educational portal [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

<b>Scientific consultant:</b>	<b>Makhkamov Muzaffar</b> Doctor of Chemical Sciences, Professor
<b>Official opponents:</b>	<b>Rafikov Adham</b> Doctor of Chemical Sciences, Professor  <b>Juraev Murod</b> Doctor of philosophy in Chemistry
<b>Leading organization:</b>	<b>Tashkent Institute of Chemical Technology</b>

The defense of the dissertation will take place on «28» October 2022 at « 11<sup>00</sup> » at the meeting of the one-time Scientific Council at Scientific Council DSc.03/30.12.2019.K.01.03 at the National University of Uzbekistan (Address: 100174, Tashkent, street Universitetical 4. Ph.: (99871)227-12-24, Fax: (99824) 246-53-21; 246-02-24.e-mail: [chem0102@mail.ru](mailto:chem0102@mail.ru)).

The dissertation has been registered at the Informational Resource Centre of National University of Uzbekistan under № 116 (Address: 100174, 4 University street, Tashkent, National University of Uzbekistan, tel.: (99871) 246-67-71).

The abstract of the dissertation has been distributed on «28» October 2022 year

Protocol at the register № 18 dated «13» October 2022 year

**Z.Smanova**  
Chairman of the one-time Scientific Council for awarding  
of the scientific degrees,  
Doctor of Chemical Sciences, professor

**D.Bekhchanov**  
Scientific Secretary of the one-time Scientific Council for awarding  
of the scientific degrees,  
Doctor of Chemical Sciences, docent

**M.Mukhamediev**  
Chairman of Scientific seminar at one-time Scientific  
Council for awarding of the scientific degrees,  
Doctor of Chemical Sciences, professor



## INTRODUCTION (abstract of doctor of philosophy (PhD) thesis)

**The aim of the research work** is to study the kinetics and mechanism of oxidative polymerization of aniline in aqueous solutions, as well as the physicochemical and electrophysical properties of the materials based on polyaniline.

**The objects of the research work** as polyaniline and its ZnO and TiO<sub>2</sub> based conductive polymer compositions.

**The scientific novelty of the research work** is as follows:

by determining the kinetic parameters of the polymerization process of aniline in aqueous solutions, the total activation energy, and reaction orders by monomer and oxidizer, it has been proved that polymerization of aniline in the presence of persulfates at low temperatures proceeds by a cationic mechanism, and at high temperatures by a radical mechanism;

it has been shown that the introduction of dopants into the polyaniline composition accelerates the process of its thermochemical destruction and leads to a decrease in its total energy;

the relationship between the conductivity of the obtained polymer and composite materials with their production conditions, nature, and amount of dopant is determined;

for the first time, it has been proven that polymeric compositions of polyaniline with ZnO content in the latter up to 15% by weight have properties characteristic of semiconductors, and with their higher content-high electrical conductivity characteristic of metals;

for the first time, it was found that in terms of electrical conductivity, the emeraldine form of the polyaniline salt belongs to the "p" type, and compositions containing ZnO and TiO<sub>2</sub> belong to the "n" type of semiconductor materials.

**Implementation of the research results.** Based on the production of electrically conductive materials based on polyaniline, as well as the study of their physical and physicochemical properties:

the organization standard for the synthesis of composite materials based on polyaniline was approved by the Organization of Sanitary and Epidemiological Supervision and Health of the Republic of Uzbekistan (Ts 200845944-01:2021), which made it possible to create standard conditions for the production, storage, and use of polymers at enterprises;

electrophysical parameters of electroconductive polymeric composites based on polyaniline were studied at Photon JSC (certificate of Photon JSC dated March 3, 2022 No. 04-3/352). As a result, accumulators and supercapacitors have found use as components of electrode materials, additives in the preparation of various antistatic compositions;

electroconductive polymer composites based on polyaniline were tested by Electrochemical Plant OJSC in the laboratory of the Department of Automation and Instrumentation and Instrumentation (Reference No. 123 of May 17, 2022, of Elektrochimzavod JV). As a result, it has been shown that conductive polymeric

materials based on polyaniline can be used as contact and current conducting elements in automatic and instrumentation (instrumentation).

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of using literature, and appendices. The volume of the dissertation is 105 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; part I)**

1. Абдуллаева Н.Н., Махкамов М.А. Синтез и изучение физико-химических свойств полианилина и его композиций с оксидом цинка // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2021. № 1(91)., Ст. 58-61 (02.00.06. №2).
2. Абдуллаева Н.Н., Махкамов М.А. Полианилин асосида ток ўтказувчи полимер композицион материаллар олиш // Композицион материаллар тўплами. №2/2021/ Б. 114-116 (02.00.00. №4).
3. Абдуллаева Н.Н., Махкамов М.А. Анилиннинг оксидланишли полимерланиши // Андижон давлат университети. Илмий хабарнома серия: Кимё тадқиқотлари 2021. 3(55). Б. 54-64 (02.00.00. №13).
4. Abdullaeva N.N., Makhkamov M.A., Synthesis of conductive polymeric compositions based on polyaniline // EPRA International Journal of Research and Development (IJRD)/ SJIF Impact Factor: 7.001| ISI.F.Value:1.241| Volume: 5 | Issue: 10 | October 2020, P. 241-245 (Б. 3, №35).

**II бўлим (II часть; II part)**

5. Khdoiberdiev I., Abdullaeva N., Makhkamov M. Obtaining polyaniline by oxidative polymerization of aniline // «Интеллектуальные технологии в образовании» международная научно-практическая онлайн-конференция, - Ташкент 2022. - С. 2029-2033.
6. Abdullaeva N.N., Makhkamov M.A. Oxidation polymerization of aniline // “Results of modern scientific research and development” International scientific and current research conferences, North Carolina 10.11.2021. – P. 49-52
7. Абдуллаева Н.Н., Махкамов М.А. Полианилин асосидаги ток ўтказувчи полимерлар синтези // «Табиий фанлар соҳасидаги долзарб муаммолар ва инновацион технологиялар» мавзусидаги халқаро илмий-амалий on-line анжумани, Илиш.тўп. 20-21ноябрь, 1-ТОМ, - Тошкент 2020. – Б. 115-117.
8. Abdullaeva N.N., Makhkamov M.A., Polyanilin is a conductive polymer, application, synthesis // “Science problem and solution”, Turecen.com, 20 November, - BELGIUM 2020. – P. 32-35.
9. Абдуллаева Н.Н., Махкамов М.А. Синтез и применение полимеров на основе полианилина и их композитов // Глобальная наука и инновация 2020: центральная азия. 2020. №5. (10)., ISSN 2664-2271. Астана 2020. – С. 164-166.
10. Абдуллаева Н.Н., Махкамов М.А. Физико-химических свойств полианилина и его композиций с оксидом цинка // «Яримўтказгичлар ва полимерлар физикасининг долзарб муаммолари » мавзусидаги хорижий

олимлар иштирокида Республика илмий-амалий анжумани, Ил.иш.тўп., 1-февраль, №2 Шўба. - Тошкент 2022. – Б. 180-181.

11. Абдуллаева Н.Н., Махкамов М.А. Анилиндан кимёвий усулда полианилин олиш // «Маҳаллий хомашёлар ва иккиламчи ресурслар асосидаги инновацион технологиялар» мавзусидаги республика илмий-техник анжумани, Ил.иш.тўп., 19-20-апрель, №1 Шўба. - Урганч 2021. – Б. 158-159.

12. Абдуллаева Н.Н., Махкамов М.А. Анилиндан оксидланишли полимерлаш орқали полианилин олиш // «Замонавий органик кимёнинг долзарб муаммолари» мавзусидаги республика илмий-амалий анжумани, Ил.иш.тўп., 1-май. - Қарши 2021. – Б. 5-7.

13. Абдуллаева Н.Н., Худойбердиев И. И., Махкамов М.А. Анилиннинг оксидланишли полимерланишини тадқиқ қилиш // «Кимёнинг долзарб муаммолари» мавзусидаги республика илмий-амалий анжумани, Ил.иш.тўп. 4-5 февраль. - Тошкент 2021. – Б. 133.

14. Абдуллаева Н.Н., Махкамов М.А. Электропроводящие полимеры на основа полианилина // Academia science «Yoshlarning innovatsion faolligini oshirish, ma'naviyatini yuksaltirish va ilm-fan sohasidagi yutuqlari» 2-sonli Res. Ilmiy- onlayn konf. Mater. To`p.25-iyul. – Тошкент 2020. – Б. 56-57.

15. Абдуллаева Н.Н., Махкамов М.А. Синтез полимерных материалов на основа полианилина // Матер. научно-прак. конф. «Современное состояние и перспективы науки о функциональных полимерах» УзМУ. 19-20 март. - Ташкент 2020. – С. 48.

16. Абдуллаева Н.Н., Махкамов М.А. Электропроводящие полимеры и композиции на основе полианилина // Матер. научно-прак. конф. «Внедрение достижений науке в практику и устранение в ней деятельности коррупции», ХимТех., 30.11. - Ташкент 2019. – С. 282-285.

Автореферат «ЎзМУ хабарлари» журнали таҳририятида таҳрирдан  
ўтказилди.

Босишга рухсат этилди: 13.10.2022 йил.  
Бичими 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>, «Times New Roman»  
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табоғи: 2.8. Адади 100. Буюртма № 231.  
Тел (99) 832 99 79; (99) 817 44 54.  
Гувоҳнома reestr № 10-3279  
«IMPRESS MEDIA» МЧЖ босмахонасида чоп этилган.  
100031, Тошкент ш., Яккасарой тумани, Қушбеги кўчаси, 6-уй