

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИLMИЙ ТАДҚИҚОТ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИLMИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.16/30.12.2019.К/Т.87.01 РАҚАМЛИ ИLMИЙ КЕНГАШ**

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИНИНГ ЯНГИЕР
ФИЛИАЛИ**

МАХКАМОВ БАХРОМ АЗИМЖОНОВИЧ

**МОДИФИКАТЦИЯЛАНГАН ЦЕОЛИТЛИ КАТАЛИЗАТОРЛАР
ОЛИШ ВА УЛАРНИ НОРМАЛ ГЕКСАНИ АРОМАТЛАШ
ЖАРАЁНИДА ҚЎЛЛАШ**

02.00.14 – Органик моддалар ва улар асосида материаллар технологияси

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

Тошкент-2026

Фалсафа докторлик (PhD) диссертатсияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата диссертатсии доктор философии (PhD)
Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy(PhD)

Махкамов Бахром Азимжонович

Модификацияланган сеолитли катализаторлар олиш ва уларни нормал гексанни ароматлаш жараёнида қўллаш..... 3

Махкамов Бахром Азимжонович

Приготовление модифицированных цеолитных катализаторов и их применение в процессе ароматизации нормального гексана..... 21

Makhkamov Bakhrom Azimjonovich

Preparation of modified zeolite catalysts and their application in the aromatization process of normal hexane..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works..... 43

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИLMИЙ ТАДҚИҚОТ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИLMИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.16/30.12.2019.К/Т.87.01 РАҚАМЛИ ИLMИЙ КЕНГАШ**

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИНИНГ ЯНГИЕР
ФИЛИАЛИ**

МАХКАМОВ БАХРОМ АЗИМЖОНОВИЧ

**МОДИФИКАТЦИЯЛАНГАН ЦЕОЛИТЛИ КАТАЛИЗАТОРЛАР
ОЛИШ ВА УЛАРНИ НОРМАЛ ГЕКСАНИ АРОМАТЛАШ
ЖАРАЁНИДА ҚЎЛЛАШ**

02.00.14 – Органик моддалар ва улар асосида материаллар технологияси

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

Тошкент-2026

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2025.1.PhD/T5248 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент кимё-технология институтининг Янгиер филиалида бажарилган.

Диссертация автореферат уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) илмий кенгаш веб саҳифасининг (www.tktiti.uz) ҳамда «Ziyonet» таълим ахборот тармоғида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Файзуллаев Нормурот Ибодуллаевич
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Ёдгоров Нормухаммад
кимё фанлари доктори, профессор

Соттиқулов Элёр Сотимбоевич
техника фанлари доктори, катта илмий ходим

Етакчи ташкилот:

Фарғона давлат техника университети

Диссертация ҳимояси Тошкент кимё технология илмий тадқиқот институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.16/30.12.2019.К/Т.87.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2026 йил «___» январь соат 9⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтди. (Манзил: 111116, Тошкент тумани, Ибрат МФЙ., Шўрбозор. Тел.: (+99895) 144-67-83, E-mail: ooo_tniixt@mail.ru, TKTITI@exat.uz).

Диссертация билан Тошкент кимё технология илмий тадқиқот институтининг Ахборот ресурс марказида танишиш мумкин (№ 2026/02 рақам билан рўйхатга олинган Манзил: 111116, Тошкент тумани, Ибрат МФЙ., Шўрбозор. Тел.: (+99895) 144-67-83, E-mail: ooo_tniixt@mail.ru, TKTITI@exat.uz).

Диссертация автореферати 2025 йил «___» декабрь куни тарқатилди.

(2026 йил «___» январдаги 2026/02 рақамли рејестр баённомаси).

Джалилов А.Т.

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
к.ф.д., проф., академик

Қиёмов Ш.Н.

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш котиби,
т.ф.д., к.и.х.

Бекназаров Ҳ.С.

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги
илмий семинар раиси, т.ф.д., проф.

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси).

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Дунёда, сўнгги йилларда катализатор-риформинг мотор ёқилғиларининг юқори октан сонли компонентларини ва бензол, толуол, ксилол каби индивидуал ароматик углеводородларни олишга имкон берадиган нефтни қайта ишлашнинг асосий жараёнларидан бири бўлиб ҳисобланади. Шу сабабли, ароматик углеводородлар ва изопарафинлар олишда нормал тузилишли гександан унумли фойдаланиш ва ароматлаш жараёни учун селективлиги, фаоллиги ва турғунлиги юқори бўлган катализаторлар яратиш ва ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга.

Жаҳонда бугунги кунда нормал тузилишли гексани кимёвий қайта ишлаш учун цеолитли катализаторлар олиш бўйича кўплаб илмий изланишлар олиб борилмоқда. Бу борада маҳаллий хомашёлар асосида мезоғовакли фаоллаштирилган цеолитли катализаторларни танлаш, уларнинг текстур ва структур хоссаларини яхшилаш катализаторлардан фойдаланиш асосида ароматик углеводородлар ҳамда изопарафинлар олиш учун ҳарорат режимини, маҳсулотлар унумининг катализаторларнинг табиатига, таркибига, ва уларни тайёрлаш усули ҳамда реакцияни ўтказиш шароитига боғлиқлик қонуниятлари ва маҳсулотлар олишнинг иқтисодий самарадорлигини асослаш муҳим аҳамият касб этади.

Республикамизда нефть ва газ саноатларини модернизация қилиш, ишлаб чиқариш корхоналарининг янги материаллар асосида экспортбоп хомашё базасини маҳаллийлаштириш, улар асосида ароматик углеводородлар ҳамда изопарафинлар олиш борасида илмий ва амалий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, “Саноатни сифат жиҳатидан янги босқичга кўтариш, маҳаллий хомашё манбаларини тўлиқ қайта ишлаш, тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришни жадаллаштириш, янги турдаги маҳсулотлар ва технологияларни ўзлаштириш¹” бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу борада, маҳаллий хомашёлардан олинган катализаторлар иштирокида нормал тузилишли гексани катализатор конверсиялаб бензол гомологлари ҳамда тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги фармони, 2020 йил 12 августдаги ПҚ-4805-сон “Кимё ва биология йўналишларида узлуксиз таълим сифатини ва илм фан натижадорлигини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида”и қарори, 2020 йил 2-мартдаги ПФ-5953-сонли “Илм, маърифат ва рақамли иқтисодиётни ривожлантириш йилида амалга оширишга оид Давлат дастури тўғрисида»ги фармони, 2017 йил 29 августдаги ПҚ-3264-сон “Кимё саноати

¹ 1 О‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-sonli “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni

ташкilotларининг экспорт-импорт фаолиятини такомиллаштириш чоратадбирлари тўғрисида”ги қарорлари, ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот Республика фан ва технологиялари ривожланишининг VII “Кимёвий технологиялар ва нанотехнологиялар» устивор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Нормал тузилишли гексаннинг каталитик ўзгаришлари ва улар асосида бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш технологияларини яратиш бўйича чет элда А.Л.Лапидус, А.А.Дергачев, Б.Туктин, Л.Б.Шаповалова, Р.И.Егизбаева, А.А.Шаповалов, Н.А.Мамонов Е.В.Фадеева, Д.А.Григорьев, М.Н.Михайлов, Л.М.Кустов, В.М.Шекунова, Ю.А.Александров, С.В.Филофеев, В.Е.Лелеков, Е.А.Ганбарова, Т.А.Алиев, С.Э.Мамедов, И.В.Асафтеи, Н.С.Лунгу, М.Л.Бирса, Л.Г.Сарбу, А.Г.Степановлар, республикамизда эса С.М.Туробжонов, С.Р.Расулов, А.И.Икромов, Н.И.Махмудова, Н.И.Файзуллаев ва бошқалар томонидан илмий-тадқиқот ишлари олиб борилган.

Улар томонидан ароматик углеводородларни таннархи юқори суяқ маҳсулотларга айлантириш учун ароматлаш реакциялари катализаторлари яратиш ва цеолитли катализаторлар иштирокида октан сони юқори бўлган бензин, ароматик углеводородлар ва изопарафинлар олиш усуллари ўрганилган. Ҳозирда нормал тузилишли гексани бензол гомологларига конверсиялаш реакциялари учун катализатор олиш ва жараённинг технологиялари, юқори каталитик хусусиятга эга бўлган цеолитли катализаторлар иштирокида ароматик углеводородлар ва изопарафинлар, бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш, маҳсулотлар селективлигининг цеолитлар тузилишига, таркибига ва кислоталик хоссаларига боғлиқлиги ўрганиш ҳамда маҳсулотлар ишлаб чиқаришда самарали технологияларни яратиш ва амалиётда қўллаш бўйича илмий изланишлар олиб борилмоқда.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасаларининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент кимё технология институти Янгиер филиали ҳамда Самарқанд давлат университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг Табиий ва синтетик материалларни синтез қилиш, текшириш ва қайта ишлашнинг янги усуллари қисми ва ОТ-А12-46 “Маҳаллий хомашёлар асосида метанни оксиконденсатлаш реакцияси учун катализаторлар яратиш, тадқиқ этиш ва жараённи мақбуллаштириш” (2017-2018 йй) мавзусидаги амалий лойиҳаси, №66-“Маҳаллий хом-ашёлар асосида метанол ва диметилэфирдан қуйи молекуляр олефинлар синтези учун катализаторлар ишлаб чиқариш” мавзусидаги ҳамда №67-“Маҳаллий хом-ашёлар асосида

метан ва ис газидан метанол ва диметилэфир синтези учун катализаторлар яратиш” мавзуларидаги хўжалик шартномалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади маҳаллий хомашёлар асосида модификацияланган юқори каталитик хусусиятга эга бўлган цеолитли катализаторлар олиш ва уларни нормал гексанни бензол гомологларига конверсиялаш жараёнида қўллашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

нормал тузилишли гексанни катализаторлар иштирокида каталитик конверсиялаб бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш реакцияси учун юқори кремнийли цеолитлар олиш ва уларнинг тузилишини физик-кимёвий тадқиқ қилиш.

нормал тузилишли гексанни катализаторлар иштирокида каталитик конверсиялаб бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш реакцияси учун турли таркибли юқори каталитик хусусиятга эга бўлган цеолитли катализаторлар олиш усулларини ишлаб чиқиш;

олинган катализаторларнинг физик-кимёвий характеристикаларини аниқлаш ва уларни нормал тузилишли гексанни катализаторлар иштирокида каталитик конверсиялаб бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш жараёнига тадбиқ этиш;

тадқиқот учун танлаб олинган юқори кремнийли юқори каталитик хусусиятга эга бўлган цеолитли катализаторлар иштирокида нормал тузилишли гександан бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш жараёнининг мақбул шароитни ишлаб чиқиш;

яратилган катализаторни қўллаган ҳолда, нормал тузилишли гексанни катализаторлар иштирокида конверсиялаб бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олишнинг принциал технологик схемасини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида нормал тузилишли гексан, маҳаллий хомашё бўлган Навбаҳор бентонити, юқори унмдорлик ва селективликга эга бўлган катализаторлар учун металллар тузлари ва оксидлари олинган.

Тадқиқотнинг предмети нормал тузилишли гександан катализаторлар иштирокида каталитик бензол гомологларига конверсиялаш ва изомерланиш жараёнлари учун янги катализаторлар ишлаб чиқиш ва олинган катализаторларнинг таркиби, тузилиши, физик-кимёвий хоссаларини ўрганишни ташкил этган.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда физикавий, кимёвий, физик-кимёвий (хроматографик, рентгеноструктуравий ва электрон-микроскопик таҳлил) ҳамда олинган тажриба натижаларини статистик қайта ишлашнинг математик усулларида фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилigi қуйидагилардан иборат:

маҳаллий хомашёлардан турли таркибли юқори кремнийли юқори каталитик хусусиятга эга бўлган цеолитли катализаторлар олинган ва уларнинг тузилиши, фаол марказларининг хоссалари аниқланган;

танланган юқори унумдорлик ва селективликка эга бўлган катализаторларнинг каталитик фаоллигининг уларнинг структур ва морфологик тузилишига боғлиқ эканлиги илмий исботланган;

нормал тузилишли гексани катализаторлар иштирокида бензол гомологларига конверсиялашнинг каталитик реакция қонуниятлари асосида турли таркибли цеолитли катализаторларнинг мақбул таркиби ишлаб чиқилган;

гидротермал қайта ишлаш усулида олинган юқори унумдорлик ва селективликка эга бўлган Н-ЮКЦ-40, 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-20, 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 ва 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-40 таркибли катализаторларнинг барқарорлик хоссаси юқорилиги, ҳамда коксланиш даражаси пастлиги аниқланган;

маҳаллий хомашёлар асосида яратилган катализаторлар иштирокида нормал гексани конверсиялаб бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олишнинг принципиал технологияси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

Гексани катализаторлар иштирокида конверсиялаб бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш жараёни учун янги таркибдаги юқори унумдорлик ва селективликка эга бўлган Н-ЮКЦ-40, 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-20, 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 ва 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-40 таркибли катализаторлар олинган:

олинган катализатор иштирокида гексанини бензол гомологларига конверсиялаш ва изомерлаш реакциясининг физик-кимёвий хусусиятлари юқори эканлиги аниқланган;

маҳсулот унуми бўйича жараёнлар боришининг мақбул шароитлари аниқланган ва реакциянинг кинетик қонуниятлари ўрганилган ҳамда жараённинг фаолланиш энергияси аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги синтез қилинган моддаларни таркиби, тузилиши ва хоссалари газ суюқлик хроматографияси, рентгенографик анализ ва электрон микроскопик усулларида аниқланганлиги, тадқиқот усулларида ишлатилган асбоб-ускуналарнинг замонавийлиги ҳамда назарий ва экспериментал натижаларнинг ишлаб чиқариш амалиётига мослиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундан иборатки нормал тузилишли гександан катализаторлар иштирокида бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш реакциялари учун Н-ЮКЦ-40, 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-20, 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 ва 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-40 таркибдаги юқори унумдорлик ва селективликка эга бўлган барқарор катализатор яратилганлиги, унинг

кислотали хоссалари, ғоваклиги, сирт юзаси, фаол марказларининг тузилиши аниқланганлиги, нормал тузилишли гексани катализаторлар иштирокида бензол гомологларига конверсиялаш ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш жараёнининг ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти маҳаллий хомашёлар асосида олинган катализаторларни қўллаб нормал тузилишли гександан органик синтез учун муҳим бўлган бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш имкониятини оширишга, нормал тузилишли гександан унумли фойдаланишга ҳамда нормал тузилишли гександан ароматик углеводородлар ва изопарафинлар олиш технологиясини такомиллаштиришга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Нормал тузилишли гексани катализаторлар иштирокида каталитик конверсиялаб, бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш учун катализаторлар ишлаб чиқариш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

маҳаллий хом ашёлар асосида олинган Н-ЮКЦ-40, 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-20, 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 ва 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-40 таркибли катализатор Шуртан нефт ва газ қазиб чиқариш бошқармасида амалиётга жорий этилган (Шуртан нефт ва газ қазиб чиқариш бошқармасининг 2024 йил 28-октябрдаги №ОП24/ЭД-4177-сон маълумотномаси). Натижада, янги катализатордан фойдаланиш нормал тузилишли гександан ароматик углеводородлар ва изопарафинлар олиш имконини берган;

олинган катализаторлар иштирокида ароматик углеводородлар ва изопарафинлар олиш технологияси Шуртан нефт ва газ қазиб чиқариш бошқармасида амалиётга жорий этилган (Шуртан нефт ва газ қазиб чиқариш бошқармасининг 2024 йил 28-октябрдаги №ОП24/ЭД-4177-сон маълумотномаси). Натижада, янги таркибли катализаторни импорт ўрнини босувчи катализатор сифатида қўллаб иктисодий самарадорлик кўрсаткичларини ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари маъруза кўринишида 2 та халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 11 та иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Олий аттестация комиссиясининг фалсафа докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 11 та мақола, жумладан, 9 та республика ва 2 та хорижий журналларда нашр этилган.

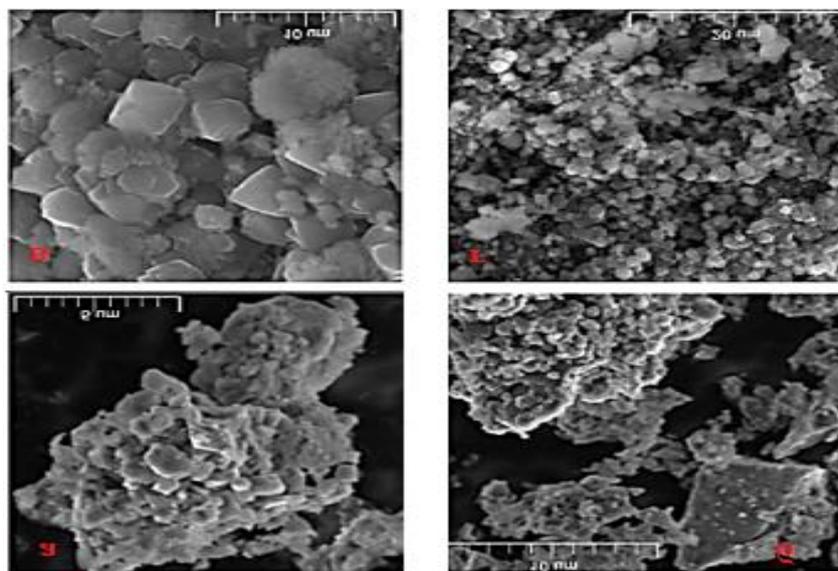
Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўрт боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 109 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида мавзунинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предмети, ўрганилганлик даражаси, тадқиқотнинг усуллари тавсифланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этиш, ўтказилган тадқиқотларнинг ишончлилиги, апробацияси ва натижаларнинг нашр қилиниши, диссертациянинг ҳажми, тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Чизиқли тузилишли гексани каталитик ароматлаш жараёнининг ҳозирги ҳолати ва истиқболлари (Адабиётлар шарҳи)”** деб номланган биринчи бобида мавзу бўйича олиб борилган тадқиқот натижалари, хорижий ва маҳаллий адабиётлар таҳлили батафсил ёритилган. Модификацияланган цеолитли катализаторларнинг ароматловчи хусусиятларига доир маълумотлар умумлаштирилган ва илмий-таҳлилий хулосалар чиқарилган ҳамда илмий адабиётлардаги маълумотлардан келиб чиққан ҳолда диссертация ишининг мақсади, вазифалари, долзарблиги ва муҳимлиги шарҳлари тақдим этилган.

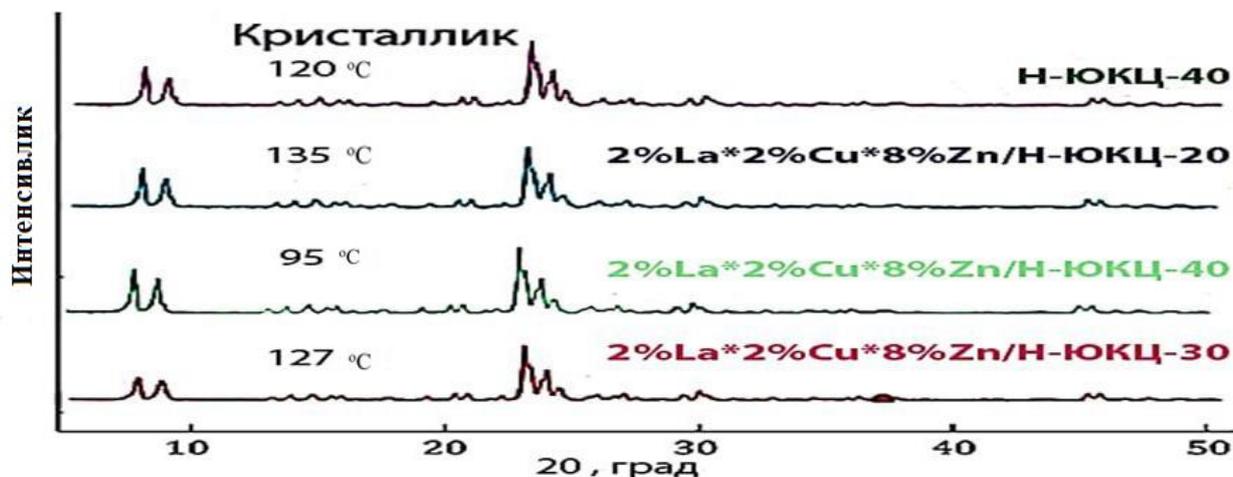
Диссертациянинг **“Катализатор таркибини танлаш, уларнинг физик-кимёвий ва текстур характеристикалари ва реакция маҳсулотлари таҳлили”** деб номланган иккинчи бобида тадқиқотларни олиб бориш бўйича дастлаб хом-ашёлар ва катализаторлар танлаш, уларнинг асосий физик-кимёвий хоссаларини тадқиқ қилиш усуллари келтирилган.



1-расм. Н-ЮКЦ-40(а), 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-20 (б), 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 (с) ва 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-40 (д) нинг электрон микроскопик тасвирлари

Нормал гексани ароматлаш реакциясининг кинетик қонуниятларини ўрганишнинг тажриба қурилмаси, тажрибани ўтказиш ва реакция маҳсулотларини таҳлил қилиш методикаси ёритилган. Катализатор синтези

бўйича тадқиқотлар берилган. Катализаторнинг характеристикалари физик-кимёвий усулларда ўрганилган. Реакция маҳсулотлари унуми ва таркиби газ-суюқлик хроматографияси усулида аниқланган.



2-расм. гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка ва унумдорликка эга бўлган катализаторларнинг рентген нурлари дифракцияси (XRD) спектрлари

Жараёни амалга ошириш учун танланган юқори каталитик хусусиятга эга бўлган танланган катализаторларнинг фазавий таркиби ва кристаллик даражаси рентген нурлари дифракцияси (РФА) билан баҳоланди. Таҳлил қилишдан олдин жараёни амалга ошириш учун танланган юқори каталитик хусусиятга эга бўлган танланган катализаторлар шаблонни олиб ташлаш учун 600 °C да 3 соат давомида иссиқлик билан ишлов берилди. Диффракция чизмаларини қайд қилиш Ultima IV «Rigaku» диффрактометрида монохроматланган CuK_α нурланишида 3 дан 50 дан 2θ гача бурчаклар оралиғида 0,5 град/мин амалга оширилди.

Диссертациянинг **“Тажриба натижалари ва уларнинг муҳокамаси”** деб номланган учинчи бобида жараёнларнинг кинетик қонуниятлари ўрганилган ва реакциянинг мақбул шароити танланган.

Чизиқли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган 2%La*2%Cu*8%Zn/H-YUKC-30 катализаторида асосий маҳсулотлари бўлиб асосан 2,2-диметилбутан, 2-метилпентан, 3-метилпентан ва 2,2-диметилпентан билан ифодаланган изо-бирикмалар ҳисобланади (1-жадвал). Шу билан бирга 450 °C да тўйинмаган этилен қатори углеводородларнинг анча кўп ҳосил бўлиши рўй беради, катализда уларнинг фоиз таркиби деярли 7 масс. % ни ташкил этади. Ҳарорат ошган сари 400 ва 500°C да циклопарафинлар миқдори 3 дан 1 масс.% гача пасаяди. 1-жадвалдан кўришиб турибдики, юқори каталитик фаолликка эга бўлган 2%La*2%Cu*8%Zn/H-YUKC-30 катализаторида ҳосил бўлаётган ароматик углеводородларнинг энг юқори миқдори (60,5 %) га энг мақбул ҳарорат 500 °C экан.

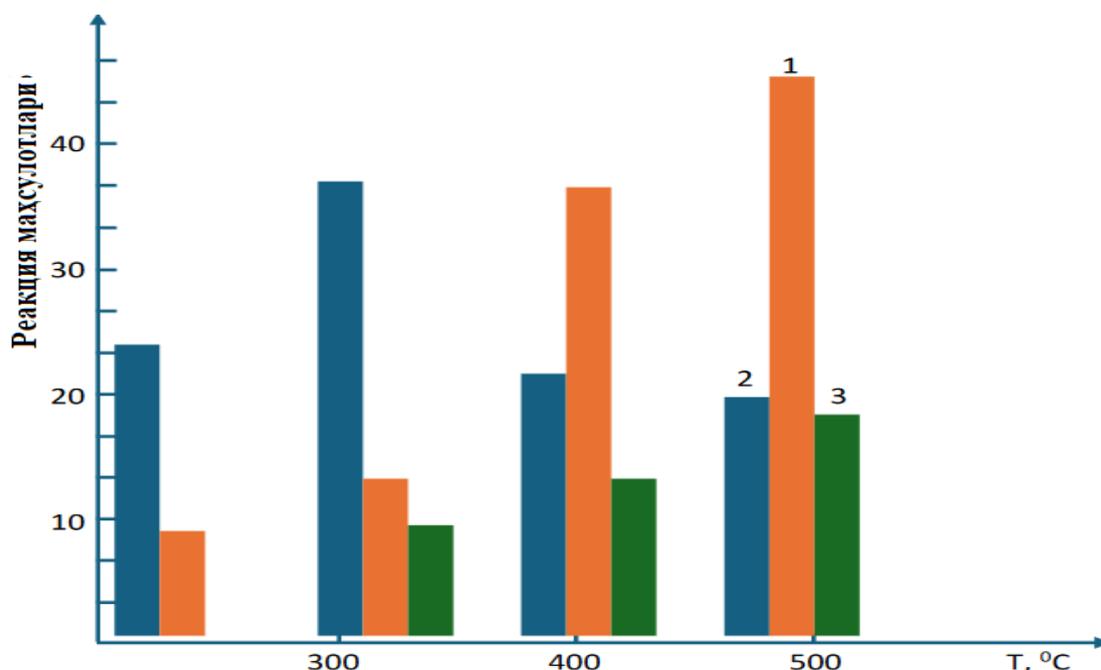
1-жадвал

**Атмосфера босимида ва хом ашёнинг ҳажмий тезлиги 0,5 соат⁻¹ да
гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун
танланган 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 катализаторида гексанининг
конверсияси маҳсулотлари**

Группа	Катализат таркиби,%		
	400 °С	450 °С	500 °С
Алканлар	46.4	36.6	15.5
Изо-алканлар	33.3	10.0	4.6
Ароматик бирикмалар	5.6	30.0	60.5
Циклопарафинлар	3.2	1.3	0.7
Олефинлар	0.1	6.9	0.6
ΣC ₁ -C ₅	9.2	15.1	18.0

Ҳароратга қараб танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган катализатор селективлиги ўзгаради. Чизикли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 катализаторида кечаётган асосий реакциялардан бири бўлиб водород таъсирида углеводород углеводород боғларининг узилиш ҳисобланади ва ҳарорат кўтарилган сари водород таъсирида углеводород углеводород боғларининг узилиш маҳсулотлари бўйича танлаб таъсир этувчанлик 400 °С да 16,8 % дан 500 °С да 23,1 % гача ошади.

Таҷриба натижалари таҳлилларидан кўриниб турибдики, чизикли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 катализаторда кечаётган жараёнларнинг асосий йўналиши бўлиб ароматик углеводородлар ҳосил бўлишига олиб келадиган реакциялар ва водород таъсирида углеводород углеводород боғларининг узилиш ҳисобланади (3-расм). Ҳарорат кўтарилганда чизикли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш жараёнида ҳосил бўладиган газсимон маҳсулотларининг унуми ортади, бу чизикли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган катализаторнинг водород таъсирида углеводород углеводород боғларининг узилиш қобилятидан далолат беради, 500 °С да газ миқдори 18 масс. % ни ташкил этади ва оқибатда суяқ катализат чиқиши камаяди. Чизикли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш жараёнида ҳосил бўладиган газсимон маҳсулотларга нисбати ҳарорат кўтарилган сари ошади, бу паст октанли бензин фракциясини яхшилашнинг тадқиқ қилинаётган шароитларда ушбу чизикли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган катализаторнинг юқори фаоллигидан далолат беради (3-расм).



3-расм. Чизиқли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 катализаторида яхшилангандан кейин 85-180 °С фракциянинг асосий таркибий қисмлари таркиби: 1- ароматик углеводородлар, 2- изотўйинган очик занжирлилар, 3-водород таъсирида углерод-углерод боғларининг узилиш маҳсулотлари, $\Sigma Ar/\Sigma C_1-C_5$

2-жадвалда 500 °С чизиқли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 катализаторида 85-180 °С бензин фракциясини яхшилаш жараёнига муҳитнинг таъсири ўрганилган.

2-жадвал

500 °С чизиқли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ -30 катализаторида 85-180 °С бензин фракциясини яхшилаш жараёнига муҳитнинг таъсири

Моддалар Гуруҳи	Фракция таркиби	Катализат таркиби,%		
		Водород оқими	Гелий оқими	Газ таъминотисиз
Алканлар	29.65	12.10	5.525	4.015
Изоалканлар	24.50	19.20	24.15	21.20
Ароматик углеводородлар циклопарафинлар	10.25	42.40	22.30	47.25
Нафтенлар	35.70	14.15	28.30	8.660
Этилен қатори углеводородлар	3.330	-	9.250	5.550
ΣC_1-C_5		16.15	13.40	19.25

2-жадвалдан кўриниб турибдики, 500 °С ҳароратда чизиқли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-30 катализаторида 85-180 °С бензин фракцияни яхшилаш жараёнига муҳитнинг таъсири ўрганилганда газ таъминотисиз муҳит, мақбул эканини кўрсатди ва олинган ароматик углеводородлар миқдори 46,2% ни ташкил этди.

Юқори кремнийли юқори кремнийли, мезофовакли алюмосиликатли **H-ЮКЦ-40** тармоқланмаган нормал тузилишли гексанинг ароматик углеводородларга асосан бензол, толуол ва ксилолларга каталитик ароматланишини амалга ошириш учун танланган юқори каталитик фаолликка ва танлаб таъсир этувчанликка эга бўлган катализаторида гексанинг ароматик углеводородларга конверсиясига водород таъсирида углерод-углерод боғининг узилиши жараёнлари муҳим ҳисса қўшади (400 °С да 8,2% ва 500 °С да 15,3%).

Гексанинг ароматик углеводородларга каталитик ароматланишини амалга ошириш учун танланган юқори каталитик фаолликка ва танлаб таъсир этувчанликка эга бўлган **ЮКЦ** катализаторида тармоқланмаган нормал тузилишли гексан конверсияси маҳсулотлари ҳақидаги маълумотлар 3-жадвал ва 4 - расмда келтирилган.

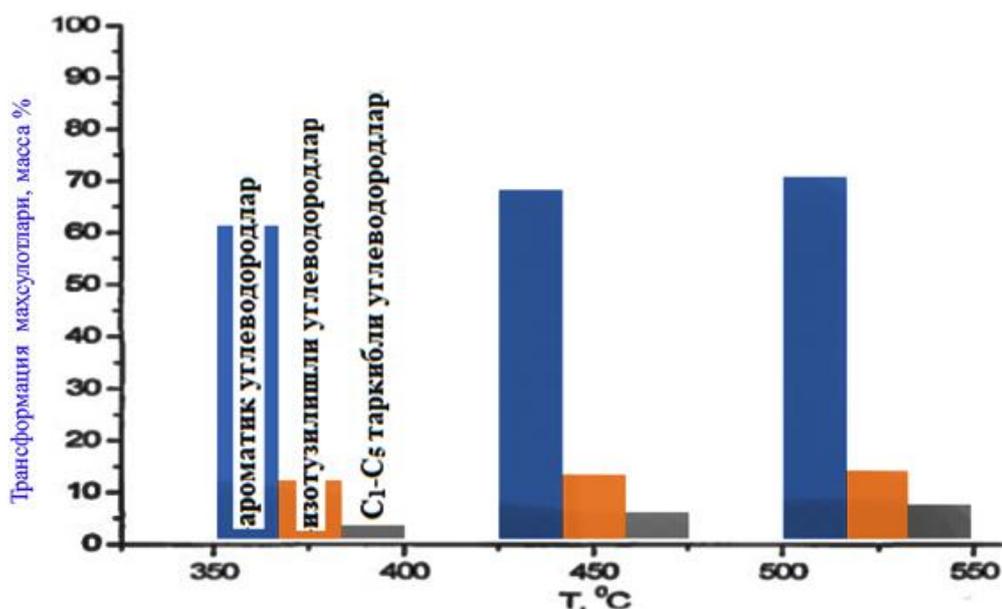
3-жадвал

ЮКЦ катализаторида гексани атмосфера босимида ва 0,5 с⁻¹ ҳажмий тезлигида конверсия қилиш натижалари

T, °C	ΣC ₁ -C ₅ , %	Σ _i , %	Σ _{Ag} , %	Конверсия даражаси, %	Танлаб таъсир этувчанлик, %		
					Гидрокрекинг	Изомерланиш	Ароматланиш
400	3.6	27.6	0.56	57.9	7.5	50.9	2.00
450	5.3	5.8	49.2	63.3	8.9	8.9	80.3
500	8.2	4.2	51.9	70.4	11.7	5.5	74.9

3-жадвалдан кўриниб турибдики, ЮКЦ катализаторида ушбу жараён шароитида ўрганилаётган гексанинг ароматик углеводородларга каталитик ароматланишини амалга ошириш учун танланган юқори каталитик фаолликка ва танлаб таъсир этувчанликка эга бўлган катализаторда тармоқланмаган нормал тузилишли гексанинг ароматик углеводородларга асосан бензол, толуол ва ксилолларга конверсияси 400 °С да юқори даражадаги конверсия даражаси 57.9% ни ташкил этган бўлса, бу кўсаткич 450 °С да 63.3% ва 500 °С да конверсия даражаси деярли 70,4 % ни ташкил қилади. Бу эса ЮКЦ катализаторининг фаоллигига нисбатан H-ЮКЦ-40 катализатори юқори фаоллика эга эканини кўсатади. 4-расмдан кўриниб турибдики, Дастлаб 350 °С ҳароратда ЮКЦ катализаторида тармоқланмаган нормал тузилишли гексанинг ароматик углеводородлар ва C₁-C₅ таркибли углеводородларга конверсияси изотузулишли углеводородга конверсиясига нисбатан кам бўлсада, ҳарорат 500 °С га кўтарилганда, тармоқланмаган

нормал тузилишли гексаннинг ароматик углеводородларга конверсияси анча юқори бўлиши кузатилди.



4-расм. ЮКЦ катализаторида гексаннинг ароматик углеводородларга конверсияси

ЮКЦ катализаторида гексаннинг ароматик углеводородларга конверсияси. Ўрганилаётган гексаннинг ароматик углеводородларга каталитик ароматланишини амалга ошириш учун танланган юқори каталитик фаолликка ва танлаб таъсир этувчанликка эга бўлган катализаторнинг силикат модулининг қиймати 78,5 бирлик бўлиб, **Н-ЮКЦ-40 (55)** ва **ЮКЦ** да эса (88,7) га ўхшаш катталиклари орасида тенг.

4-жадвал

ЮКЦ катализаторида тармоқланмаган нормал тузилишли гексаннинг нормал атмосфера босимида ва $0,5 \text{ c}^{-1}$ ҳажмий тезлигида конверсия қилиш натижалари

T, °C	$\Sigma_{C_1-C_5}$, %	Σ_i , %	Σ_{Ar} , %	Конверсия даражаси, %	Танлаб таъсир этувчанлик, %		
					Гидрокрекинг	Изомерланиш	Ароматланиш
400	3.20	12.18	62.38	82.08	4.48	13.08	67.68
450	6.78	13.45	68.86	92.49	6.87	14.58	75.28
500	7.08	14.08	73.09	95.25	8.38	15.69	78.72

4-жадвалдан кўришиб турибдики, ушбу тармоқланмаган нормал тузилишли гексаннинг ароматик углеводородларга асосан бензол, толуол ва ксилолларга каталитик ароматланишини амалга ошириш учун танланган юқори каталитик фаолликка ва танлаб таъсир этувчанликка эга бўлган катализаторда тармоқланмаган нормал тузилишли гексан конверсияси жадаллиги ҳам юқори ва 400 °C да 82% ни ташкил қилади. Жараён ҳарорати

500 °C га кўтарилганда, н-қуйи молекуляр тўйинган углеводороднинг конверсияси сезиларли даражада ошади ва 95,2% ни ташкил қилади.

Юқори каталитик хусусиятга эга бўлган мезоғовакли юқори кремнийли цеолит таркибидаги модификаторнинг кўпайиши билан чизиқли тузилишли нормал гексани каталитик ароматлаб, ароматик углеводородлар асосан, бензол, толуол ва ксилоллар олиш учун танланган катализатордаги ароматик углеводородлар асосан, бензол, толуол ва ксилоллар миқдорининг кўпайиши кузатилади. 450-500 °C ҳарорат оралиғида лантан билан ўзгартирилган юқори каталитик хусусиятга эга бўлган мезоғовакли юқори кремнийли цеолит энг катта ароматизация қобилиятини намойиш этади ва мис ва лантан билан ўзгартирилган юқори каталитик хусусиятга эга бўлган мезоғовакли юқори кремнийли цеолит нормал. Модификацияланган юқори каталитик хусусиятга эга бўлган мезоғовакли юқори кремнийли цеолитларда бу ҳарорат оралиғида ароматизациянинг танлаб таъсир этувчанлиги мос равишда 84,5-89,2% ва 79,3-83,1% ни ташкил қилади.

Гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-30 таркибли катализаторида чизиқли тузилишли гексанинг конверсияси. Ароматик углеводородлар ва юқори октан сонли бензин таркибий қисмларини олиш мақсадида биз томондан 450, 450, 500 °C ҳароратларда 0,5 соат⁻¹ хом ашё узатиш ҳажмли тезлигида, атмосфера босимида нормал гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-30 катализатори ўрганилди.

Ушбу чизиқли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган катализаторда чизиқли тузилишли гексанинг конверсияси натижалари 5-жадвалда келтирилган.

5-жадвал

Атмосфера босимида ва 0,5 соат⁻¹ хом ашё узатиш ҳажмли тезлигида юқори каталитик фаолликка эга бўлган 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-30 катализаторида чизиқли тузилишли гексанинг конверсияси натижалари

T, °C	ΣC ₁ -C ₅ , %	ΣC ₅ -C ₁₂ , %	Σ _{Ару} , %	Конверсия даражаси, %	Танлаб таъсир этувчанлик, %		
					Гидрокрекинг	Изомерланиш	Ароматланиш
400	9.22	27.85	56.32	96.12	9.640	29.32	59.15
450	15.42	7.115	72.40	97.52	15.85	7.421	75.12
500	16.32	3.125	77.94	99.92	16.44	3.224	78.01

5-жадвалдан келиб чиқадики, чизиқли тузилишли гексан конверсияси жараёни ушбу шароитларда 400 °C да юқори ўзгариш даражаси билан содир

бўлади, 500 °C да эса ўзгариш чуқурлиги ўрганилаётган чизиқли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган катализаторда деярли 100 % ни ташкил этади.

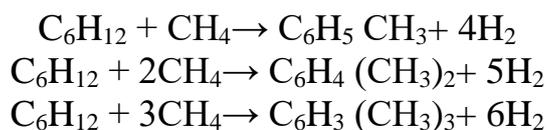
Гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган катализатор энг юқори фаолликни гексани ароматлаб ароматик углеводородлар асосан бензол, толуол ва ксилоллар олиш реакцияларида намоён этади, бироқ 400 °C да чизиқли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган катализатор танлаб таъсир этувчанлиги атиги 1 % ни ташкил этади.

Диссертациянинг “Гексанинг каталитик ароматланиш кинетикасини ўрганиш ва жараёнинг энергия ва ресурстежамкор технологияси” деб номланган тўртинчи бобида гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш жараёнининг кинетик қонуниятлари ўрганилган ва фаолланиш энергияси баҳоланган.

2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-20 ва 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-30 чизиқли тузилишли гексани каталитик ароматлаб ароматик углеводородлар олиш учун танланган юқори каталитик фаолликка эга бўлган катализаторларида 400, 450, 500 °C ҳароратда чизиқли тузилишли гексанинг конверсияси натижалари келтирилган.

Хом ашёни узатишнинг ҳажмли тезлиги ошган сари чизиқли тузилишли гексан ўзгариш чуқурлиги ва мақсадли маҳсулотлар чиқиши камаяди.

Тармоқланмаган нормал тузилишли гексанинг ксилол ва триметил-бензолга конверсияси реакциясининг энергия ва ресурстежамкор принциал технологияси. 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-30 катализатори иштирокида тармоқланмаган нормал тузилишли гексанинг ксилол ва триметилбензолга конверсияси жараёни амалга оширилади. Бу эса қуйидаги реакциялар асосида боради:



400 °C да тармоқланмаган нормал тузилишли гексанинг ароматик углеводородларга асосан бензол, толуол ва ксилолларга каталитик ароматланишини амалга ошириш учун танланган юқори каталитик фаолликка ва танлаб таъсир этувчанликка эга бўлган катализаторнинг танлаб таъсир этувчанлиги атиги 0,9% ни ташкил қилади, лекин 450 °C да 78% ни ташкил қилади. 450 °C да жараён учун тармоқланмаган нормал тузилишли гексанинг ароматик углеводородларга асосан бензол, толуол ва ксилолларга каталитик ароматланишини амалга ошириш учун танланган юқори каталитик фаолликка ва танлаб таъсир этувчанликка эга бўлган катализаторнинг танлаб таъсир этувчанлигидан 5% камроқ. Толуол таркиби 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-30 нормал гексанинг ароматик углеводородларга каталитик

турли хил дисперсиядаги мезоҶовакли кристаллари ва Н-ЮҚЦ-30/30% Al_2O_3 жараёни амалга ошириш учун танланган юқори каталитик хусусиятга эга бўлган танланган катализаторда мезоҶовакли ва алюминий оксиди кристаллари билан ҳосил бўлади, Н-ЮҚЦ-30 мезоҶовакли эса микроҶовак бўлиб қолади ва каталитик фаол марказларга диффузия вақтида реакцияга киришувчи молекулаларнинг чекловлари мавжуд бўлиб ва ҳосил бўлган реакция маҳсулотлари сақланиб қолади. Ўрганилаётган материалларнинг кислоталилик хоссаларини ўрганиш натижаларидан кўриниб турибдики, барча ўрганилган жараёни амалга ошириш учун танланган юқори каталитик хусусиятга эга бўлган катализаторлар икки турдаги кучсиз ва кучли кислотали марказларнинг мавжудлиги билан тавсифланади. Маълумки, юқори ҳарорат чўққиси асосан Бренстед кислота марказлари учун ва паст ҳароратлиси эса асосан Льюис кислотаси марказлари учун тегишли.

ЮҚЦ-30 жараёни амалга ошириш учун танланган юқори каталитик хусусиятга эга бўлган танланган катализатори билан солиштирганда Н-ЮҚЦ-30/30% Al_2O_3 донадор катализаторининг кучли кислотали марказларининг паст концентрацияси 30% боғловчи қўшилиши мезоҶовакли фазасининг пасайиши билан боғлиқ.

ХУЛОСА

1. Маҳаллий ҳомашё асосида нормал тузилишли гександан катализаторлар иштирокида каталитик конверсиялаб бензол гомологлари ва тармоқланган тузилишли тўйинган углеводородлар олиш реакцияси учун юқори кремнийли цеолитлардан 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮҚЦ-20 ва 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮҚЦ-30 катализаторлари олинди ва уларнинг тузилишини физик-кимёвий жиҳатдан тадқиқ қилинди;

2. ЮҚЦ, Н-ЮҚЦ-40 ва 2%La·2%Cu·8%Zn/Н-ЮҚЦ-30 катализаторлари асосидаги тадқиқотлар натижалари: гексаннынги ЮҚЦ катализаторида 500°С да 95,2% конверсияга эришилган бўлса, Н-ЮҚЦ-40 учун ушбу кўрсаткич 70,4%, 2%La·2%Cu·8%Zn/Н-ЮҚЦ-30 учун эса 99,9% ни ташкил этди. ЮҚЦ катализаторида бензол гомологлари унуми 78,7%, Н-ЮҚЦ-40 учун 74,9%, 2%La·2%Cu·8%Zn/Н-ЮҚЦ-30 учун эса 78,01% гача кўтарилди. Модификация қилинган катализаторларда, хусусан Zn ва La сақловчи вариантларда, бензол қатори углеводородларнинг миқдори кўп бўлди ва октан сони юқори бўлган маҳсулотлар ҳосил бўлди. 2%La·2%Cu·8%Zn/Н-ЮҚЦ-30 катализатори 450–500 °С ҳароратда юқори самарадорлик намоён этди.

3. Тармоқланмаган нормал гександан ксилол ва триметилбензоллар олиш учун ишлаб чиқилган технологияда икки босқичли реактор, икки ректификация колоннаси ва совитишиситиш модуллари бўйича оптимал технологик схема ишлаб чиқилди.

4. Иқтисодий самарадорлик: 1 тонна катализатор ишлаб чиқариш умумий харажати 367.2 млн сўмни ташкил этди, бу импорт қилинадиган Mo/ZSM-5 турдаги катализаторларга нисбатан 14,6% арзонроқ.

Импорт ўрнини босувчи миллий маҳсулот сифатида 2%La·2%Cu·8%Zn/H-ЮҚЦ-30 катализатори юксак иқтисодий ва технологик рақобатбардошликка эга эканлиги аниқланди.

5. Жорий тадқиқотлар гексани бензол гомологларига айлантиришда 2%La·2%Cu·8%Zn/H-ЮҚЦ-30 катализатори энг самарали, юқори октанли маҳсулотлар унуми юқори ва селективлиги катта эканлигини кўрсатди. Катализаторнинг фаоллиги, узоқ регенерациялараро цикли, экологик меъёрларга мос келувчи маҳсулотлари ва иқтисодий афзалликлари уни саноат миқёсида жорий этиш учун муносиб катализатор сифатида тавсия этишга асос бўлади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.16/30.12.2019.К/Т.87.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНИ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ИНСТИТУТЕ ХИМИЧЕСКОЙ
ТЕХНОЛОГИИ**

**ЯНГИЕРСКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО ХИМИКО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА**

МАХКАМОВ ВАХРОМ АЗИМЖОНОВИЧ

**ПРИГОТОВЛЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕОЛИТНЫХ
КАТАЛИЗАТОРОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ
АРОМАТИЗАЦИИ НОРМАЛЬНОГО ГЕКСАНА**

02.00.14- «Технология органических веществ и материалов на их основе»

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

Ташкент – 2026

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2025.1.PhD/T5248

Диссертация выполнена в Янгийерском филиале Ташкентского химико-технологического института.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице www.tktiti.uz и информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу (www.ziyo.net).

Научный руководитель:	Файзуллаев Нормурот Ибодуллаевич доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Ёдгоров Нормухаммад доктор химических наук, профессор Соттикулов Элёр Сотимбоевич. доктор технических наук, старший научный сотрудник
Ведущая организация:	Ферганский государственный технический университет

Защита диссертации состоится « ____ » января 2026 г. в « 9⁰⁰ » часов на заседании Ученого совета DSc.16/30.12.2019.К/Т.87.01 при Ташкентском научно-исследовательском институте химической технологии по адресу: 111116, Ташкентская область, Ташкентский р-н, ул. Шурабазар, тел: (+99895) 144-67-83, E-mail: ooo_tniixt@mail.ru, Tktiti@exat.uz.

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Ташкентского научно-исследовательского института химической технологии за № 2026/02, с которой можно ознакомиться в ИРЦ (111116, Ташкентская область, Ташкентский р-н, п.о.Шурабазар, тел: (+99895) 144-67-83, E-mail: ooo_tniixt@mail.ru, Tktiti@exat.uz).

Автореферат диссертации разослан « » декабря 2025 года.

(протокол рассылки № 2026/02 от « » января 2026 года).

Джалилов А.Т
Председатель научного совета по
присуждению учёных степеней,
д.х.н., проф., академик

Киёмов Ш.Н.
Ученый секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней, д.т.н., с.н.с.

Бекназаров Х.С.
Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению учёной
степени, д.т.н., проф.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD)).

Актуальность и востребованность темы диссертации. В последние годы в мире каталитический риформинг стал одним из основных процессов нефтепереработки, позволяющим получать высокооктановые компоненты моторных топлив и индивидуальные ароматические углеводороды, такие как бензол, толуол, ксилол. Поэтому эффективное использование нормального гексана в производстве ароматических углеводородов и изопарафинов, создание и разработка катализаторов с высокой селективностью, активностью и стабильностью для процесса ароматизации имеют большое значение.

Сегодня в мире проводится большое количество научных исследований, направленных на получение цеолитных катализаторов для химической переработки нормального гексана. В связи с этим актуальны подбор мезопористых активированных цеолитных катализаторов на основе местного сырья, улучшение их текстурно-структурных свойств, определение температурного режима получения ароматических углеводородов и изопарафинов с использованием катализаторов, закономерностей зависимости выхода продуктов от природы, состава катализаторов, способа их приготовления и условий реакции, а также обоснование экономической эффективности получения продуктов.

В нашей республике достигаются научные и практические результаты по модернизации нефтегазовой промышленности, локализации экспортной сырьевой базы предприятий-производителей на основе новых материалов и получения на их основе ароматических углеводородов и изопарафинов. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан поставлены важные задачи: «Выход отрасли на качественно новый уровень, полная переработка местных сырьевых источников, ускорение производства готовой продукции, освоение новых видов продукции и технологий». В этой связи важное значение имеет каталитическая конверсия гексана нормального строения в гомологи бензола и насыщенные углеводороды разветвленного строения с использованием катализаторов, полученных из местного сырья.

Данное диссертационное исследование в определенной мере послужит реализации задач, обозначенных в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», Постановлении № ПП-4805 от 12 августа 2020 года «О мерах по повышению качества непрерывного образования и научной эффективности в области химии и биологии», Постановлении № УП-5953 от 2 марта 2020 года «О Государственной программе по проведению Года науки, просвещения и цифровой экономики», Постановлении № ПП-3264 от 29 августа 2017 года «О мерах по совершенствованию экспортно-импортных

деятельности организаций химической промышленности» и других нормативно-правовых актах, связанных с данной деятельностью.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики VII «Химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. Целенаправленные научные исследования по каталитическим превращениям гексана с нормальной структурой и созданию технологий получения гомологов бензола и насыщенных углеводородов с разветвленной структурой на их основе периодически проводились в научных школах такими учеными, как А.Л.Лapidус, А.А.Дергачев, Б.Туктин, Л.Б.Шаповалова, Р.И.Егизбаева, А.А.Шаповалов, Н.А.Мамонов, Е.В.Фадеева, Д.А.Григорьев, М.Н.Михайлов, Л.М.Кустов, В.М.Шекунова, Ю.А.Александров, С.В.Филофеев, В.Е.Лелеков, Е.А.Ганбарова, Т.А.Алиев, С.Э.Мамедов, И.В.Асафтеи, Н.С.Лунгу, М.Л.Бирса, Л.Г.Сарбу, А.Г.Степановлар, а в нашей Республике Н.И.Махмудова, С.Р.Расулов, А.И.Икромов, С.М.Туробжонов, Н.И.Файзуллаев и другие.

Ими изучены методы создания катализаторов реакций ароматизации для превращения ароматических углеводородов в высокоценные жидкие продукты, получения высокооктанового бензина, ароматических углеводородов и изопарафинов с использованием цеолитных катализаторов. В настоящее время проводятся научные исследования по созданию катализаторов и технологических процессов превращения гексана нормального строения в гомологи бензола, получения ароматических углеводородов и изопарафинов, гомологов бензола и предельных углеводородов разветвленного строения с использованием цеолитных катализаторов с высокими каталитическими свойствами, изучению зависимости селективности образования продуктов от структуры, состава и кислотных свойств цеолитов, созданию и практическому внедрению эффективных технологий производства продукции.

Связь темы диссертации с планами научных исследований высших учебных заведений, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках плана научно-исследовательских работ Янгиерского филиала Ташкентского химико-технологического института и Самаркандского государственного университета, в рамках темы «Новые методы синтеза, испытания и переработки природных и синтетических материалов», практического проекта ОТ-А12-46 «Создание, исследование и оптимизация катализаторов реакции оксиконденсации метана на основе местного сырья» (2017-2018 гг.), хоздоговоров № 66-«Получение катализаторов синтеза низкомолекулярных

олефинов из метанола и диметилового эфира на основе местного сырья» и № 67-«Создание катализаторов синтеза метанола и диметилового эфира на основе местного сырья».

Целью исследования является получение высококаталитических цеолитных катализаторов, модифицированных на основе местного сырья, и их применение в процессе превращения нормального гексана в гомологи бензола.

Задачи исследования:

получить высококремнеземные цеолиты для каталитического превращения нормального гексана с участием катализаторов для получения гомологов бензола и насыщенных углеводородов разветвленной структуры и изучить их физико-химическую структуру.

разработать методы получения высококаталитических цеолитных катализаторов различного состава для каталитического превращения нормального гексана с участием катализаторов для получения гомологов бензола и насыщенных углеводородов разветвленной структуры;

определить физико-химические характеристики полученных катализаторов и применить их в процессе каталитического превращения нормального гексана в гомологи бензола и разветвленные насыщенные углеводороды в присутствии катализаторов;

разработать оптимальные условия процесса получения гомологов бензола и разветвленных предельных углеводородов из нормального гексана в присутствии выбранных для исследования высококремнеземных цеолитных катализаторов с высокими каталитическими свойствами;

разработать принципиальную технологическую схему превращения нормального гексана в гомологи бензола и разветвленные предельные углеводороды в присутствии катализаторов с использованием созданного катализатора.

Объектом исследования являются гексан нормального строения, местное сырье – навбахорский бентонит, а также соли и оксиды металлов для катализаторов с высокой производительностью и селективностью.

Предметом исследования являются разработка новых катализаторов для процессов каталитической конверсии и изомеризации гомологов бензола из гексана нормального строения с участием катализаторов и изучение состава, структуры и физико-химических свойств полученных катализаторов.

Методы исследования. В диссертации использованы физико-химические, физико-химические (хроматографический, рентгеноструктурный и электронно-микроскопический анализ) и математические методы статистической обработки полученных экспериментальных результатов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

Из местного сырья получены цеолитные катализаторы с высоким содержанием кремния различного состава с высокими каталитическими свойствами, определены их структура и свойства активных центров; Для подтверждения зависимости каталитической активности выбранных катализаторов с высокой производительностью и селективностью от их структурно-морфологического строения были определены текстурные и физико-химические параметры катализаторов;

На основании закономерностей каталитической реакции превращения гексана нормального строения в гомологи бензола в присутствии катализаторов определен оптимальный состав цеолитных катализаторов различного состава;

Высокоэффективные и селективные катализаторы состава H-ВКЦ-40, 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ВКЦ-20, 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ВКЦ-30 и 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ВКЦ-40, полученные гидротермальным методом, обладают высокой стабильностью свойств и низким уровнем коксообразования; Разработана принципиальная технология получения гомологов бензола и разветвленных предельных углеводородов конверсией нормального гексана в присутствии катализаторов, созданных на основе местного сырья.

Практические результаты исследований:

Для процесса превращения гексана в гомологи бензола и насыщенные углеводороды разветвленного строения получены новые катализаторы с высокой производительностью и селективностью состава H-ВКЦ-40, 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ВКЦ-20, 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ВКЦ-30 и 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ВКЦ-40;

Установлено, что физико-химические свойства реакции превращения и изомеризации гексана в гомологи бензола с участием полученного катализатора высокие;

Определены оптимальные условия проведения процесса по выходу продуктов, изучены кинетические закономерности реакции, определена энергия активации процесса.

Достоверность полученных результатов исследования. Это объясняется установлением состава, структуры и свойств синтезированных веществ методами газожидкостной хроматографии, рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии, новизной используемого оборудования и методами исследования, а также соответствием теоретических и экспериментальных результатов производственной практике.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что для реакций получения гомологов бензола и разветвленных предельных углеводородов из гексана нормального строения в присутствии

катализаторов создан стабильный катализатор с высокой производительностью и селективностью состава Н-ВКЦ-40, 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ВКЦ-20, 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ВКЦ-30 и 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ВКЦ-40, определены его кислотные свойства, пористость, площадь поверхности и структура активных центров, а также разработан процесс превращения гексана нормального строения в гомологи бензола и получения разветвленных предельных углеводородов. Практическая значимость исследований заключается в расширении возможности получения гомологов бензола и важных для органического синтеза разветвленных предельных углеводородов из нормального гексана с использованием катализаторов, полученных из местного сырья, обеспечении продуктивного использования нормального гексана, совершенствовании технологии получения ароматических углеводородов и изопарафинов из нормального гексана.

Внедрение результатов исследований. На основании полученных научных результатов по созданию катализаторов каталитической конверсии гексана нормального строения с участием катализаторов для получения гомологов бензола и насыщенных углеводородов разветвленного строения:

Катализаторы Н-ВКЦ-40, 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ВКЦ-20, 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ВКЦ-30 и 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ВКЦ-40, полученные из местного сырья, внедрены в производстве Шуртанском НГДУ (справка №ОП24/ЭД-4177 Шуртанского НГДУ от 28 октября 2024 г.). В результате использование нового катализатора позволило получить ароматические углеводороды и изопарафины из гексана нормального строения;

Технология получения ароматических углеводородов и изопарафинов с участием полученных катализаторов внедрена в практику на Шуртанском НГДУ (Акт Шуртанского НГДУ от 21 октября 2024 года). В результате применение нового композиционного катализатора в качестве импортозамещающего позволило повысить показатели экономической эффективности.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались в виде докладов на 2 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 11 работ, из них 11 статей опубликованы в научных изданиях, рекомендованных к публикации ВАК Узбекистана по основным научным результатам докторских диссертаций по философии, в том числе в 9 республиканских и 2 зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 109 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и необходимость темы, характеризуются цели и задачи исследования, объект и предмет, уровень изученности, методы исследования, указывается на соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники Республики Узбекистан, раскрываются научная новизна и практическая значимость исследования, приводятся сведения о внедрении результатов исследования в практику, достоверности проведенного исследования, его апробации и публикации результатов, объеме и структуре диссертации.

Диссертация «Современное состояние и перспективы процесса каталитической ароматизации гексана линейного строения (Обзор литературы)»

В первой главе, озаглавленной «Исследования по теме», содержится подробная информация о результатах проведенных исследований по теме, анализ зарубежной и отечественной литературы. Обобщены сведения об ароматизирующих свойствах модифицированных цеолитных катализаторов, сделаны научно-аналитические выводы, на основе информации, представленной в научной литературе, изложены цель, задачи, актуальность и значение диссертационной работы.

Во второй главе диссертации под названием «Выбор состава катализаторов, их физико-химические и текстурные характеристики и анализ продуктов реакции» представлены методы проведения исследований, включающие выбор сырья и катализаторов, изучение их основных физико-химических свойств.

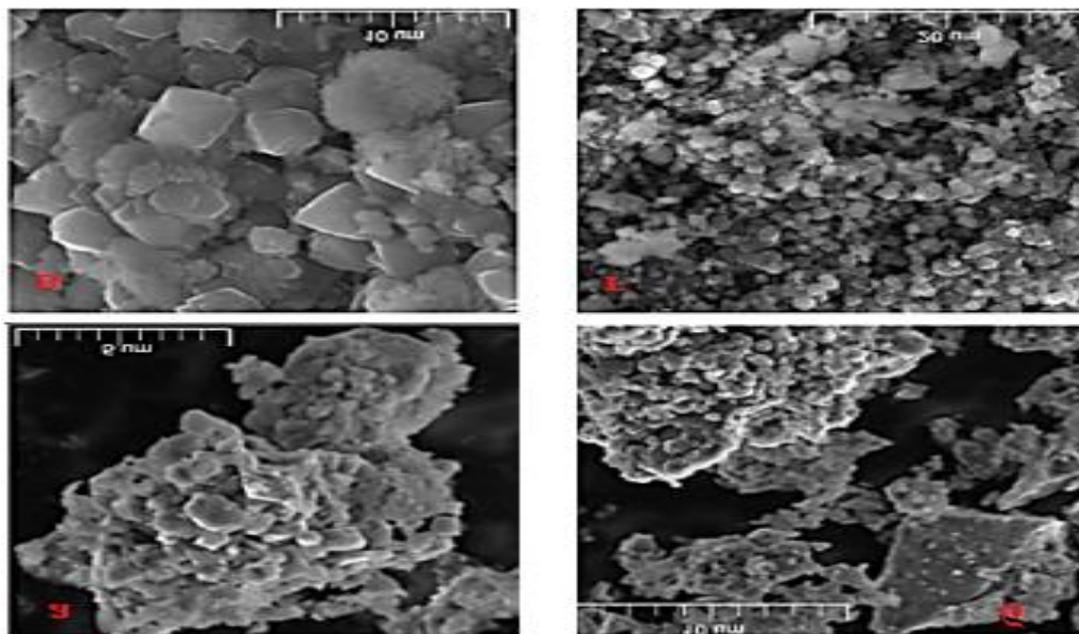


Рисунок 1. Электронно-микроскопические изображения H-ЮКЦ-40(а), 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-20 (б), 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-30 (в) и 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-40 (д)

Ароматизация нормального гексана. Описаны экспериментальная установка для изучения кинетических закономерностей реакции, методика проведения эксперимента и анализа продуктов реакции. Приведены исследования по синтезу катализатора. Характеристики катализатора изучены физико-химическими методами. Выход и состав продуктов реакции определены методом газожидкостной хроматографии.

Фазовый состав и кристалличность отобранных для данного процесса катализаторов с высокими каталитическими свойствами были оценены методом рентгеновской дифракции (РФА). Перед анализом отобранные для данного процесса катализаторы с высокими каталитическими свойствами были подвергнуты термообработке при 600 °С в течение 3 часов для удаления темплат. Дифрактограммы регистрировали на дифрактометре Ultima IV «Rigaku» в монохроматическом $\text{CuK}\alpha$ излучении в диапазоне углов от 3 до 50 2θ со скоростью 0,5 град/мин.

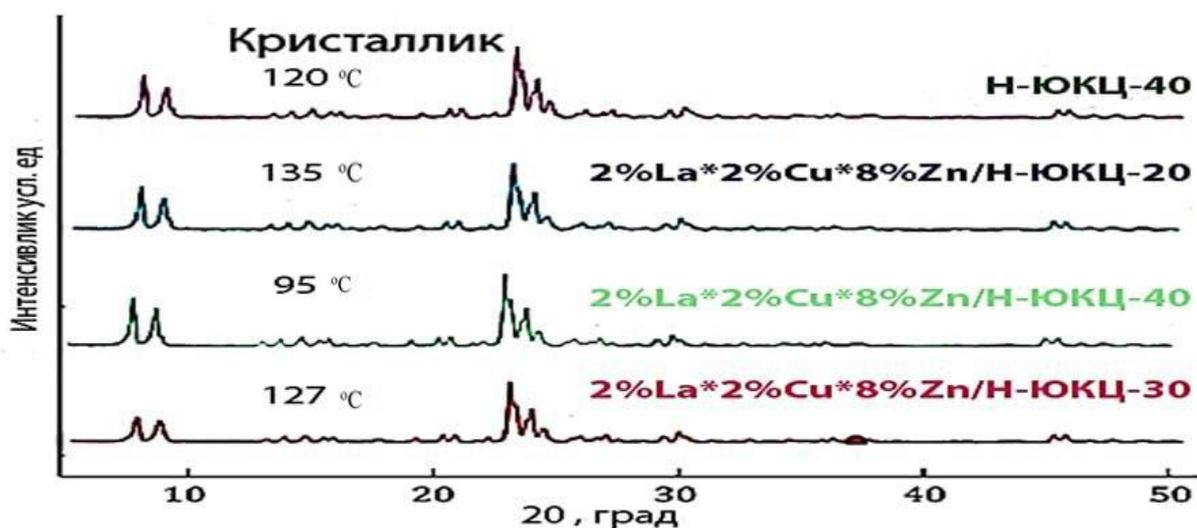


Рисунок 2. Спектры рентгеновской дифракции (РФА) катализаторов с высокой каталитической активностью и производительностью, выбранных для каталитической ароматизации гексана в ароматические углеводороды.

Глава диссертации, озаглавленная «Экспериментальные результаты и их обсуждение», процессов. Изучены кинетические законы и выбраны оптимальные условия реакции.

Основными продуктами катализатора 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-30, обладающего высокой каталитической активностью и выбранного для каталитической ароматизации линейного гексана с получением ароматических углеводородов, являются в основном изомеры, представленные 2,2-диметилбутаном, 2-метилпентаном, 3-метилпентаном и 2,2-диметилпентаном (табл. 1). При этом при 450°C образуется значительное количество непредельных углеводородов этиленового ряда, процентное содержание которых в катализаторе составляет почти 7 мас.%. С ростом температуры количество циклопарафинов уменьшается от 3 до 1 мас.% при 400 и 500 °С.

Таблица 1

Продукты конверсии гексана на катализаторе 2%La*2%Cu*8%Zn/ H-ЮКЦ-30, выбранном для каталитической ароматизации гексана с получением ароматических углеводородов при атмосферном давлении и объемной скорости подачи сырья 0,5 ч⁻¹

Группа	Содержание катализатора, %		
	400 °С	450 °С	500 °С
Алканы	46.4	36.6	15.5
Изо-алканы	33.3	10.0	4.6
Ароматические соединения	5.6	30.0	60,5
Циклопарафины	3.2	1.3	0,7
Олефины	0.1	6.9	0,6
Σ C ₁ -C ₅	9.2	15.1	18.0

Из таблицы 1 видно, что оптимальная температура для получения наибольшего количества ароматических углеводородов (60,5%) на катализаторе 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-30 с высокой каталитической активностью составляет 500 °С.

Селективность выбранного катализатора с высокой каталитической активностью изменяется в зависимости от температуры. Одной из основных реакций, протекающих в выбранном катализаторе с высокой каталитической активностью 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-30 для каталитической ароматизации линейного гексана с получением ароматических углеводородов, является реакция расщепления углерод-углеродных связей под действием водорода, причём с повышением температуры селективность по продуктам расщепления углерод-углеродных связей под действием водорода увеличивается с 16,8% при 400 °С до 23,1% при 500 °С.

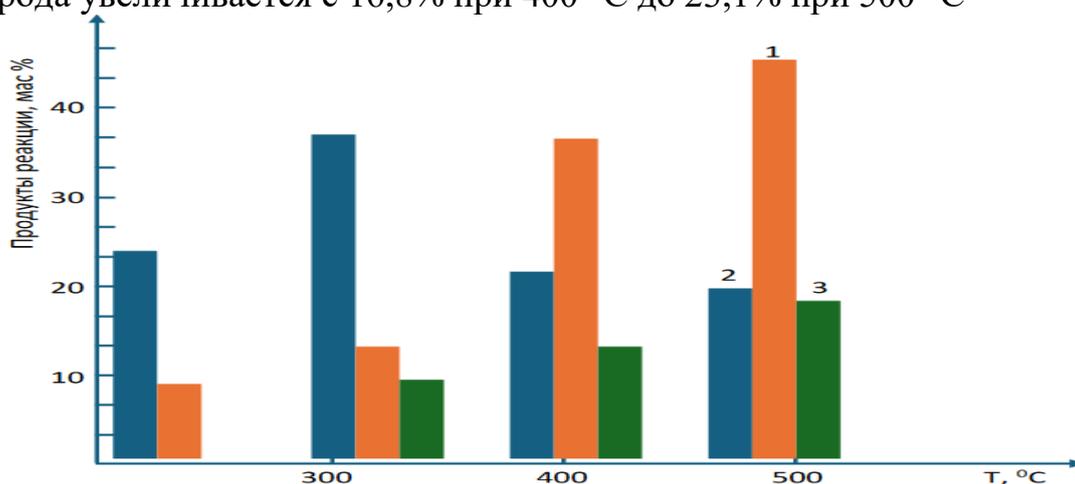


Рисунок 3. Состав основных компонентов фракции 85-180°С после каталитической ароматизации линейного гексана на катализаторе 2%La*2%Cu*8%Zn/H-ЮКЦ-30 с высокой каталитической активностью, выбранном для получения ароматических углеводородов: 1-ароматические углеводороды, 2-изонасыщенные открытые цепи, 3-продукты разрыва углерод-углеродных связей под действием водорода, ΣAr/ΣC₁-C₅

Анализ экспериментальных результатов показывает, что основным направлением процессов, протекающих на катализаторе 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 с высокой каталитической активностью, выбранном для каталитической ароматизации линейного гексана с получением ароматических углеводородов, являются реакции, приводящие к образованию ароматических углеводородов и разрыву углерод-углеродных связей под действием водорода (рис. 3). С повышением температуры увеличивается выход газообразных продуктов, образующихся в процессе каталитической ароматизации линейного гексана с получением ароматических углеводородов, что свидетельствует о способности катализатора с высокой каталитической активностью, выбранного для каталитической ароматизации линейного гексана с получением ароматических углеводородов, разрывать углерод-углеродные связи под действием водорода. При температуре 500 содержание газа составляет 18 мас. %, и, как следствие, выход жидкого катализатора снижается. Соотношение газообразных продуктов, образующихся в процессе каталитической ароматизации линейного гексана в ароматические углеводороды, увеличивается с ростом температуры, что свидетельствует о высокой активности катализатора с высокой каталитической активностью, подобранного для каталитической ароматизации линейного гексана в ароматические углеводороды в исследуемых условиях облагораживания низкооктановой бензиновой фракции (рис. 3).

В табл. 2 показано влияние окружающей среды на процесс облагораживания бензиновых фракций при 85-180 °С с использованием катализатора 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 с высокой каталитической активностью, который был выбран для каталитической ароматизации линейного гексана при 500 °С с получением ароматических углеводородов.

Таблица 2

85-180 °С на катализаторе 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 с высокой каталитической активностью, подобранном для каталитической ароматизации линейного гексана в ароматические углеводороды при 500 °С

Вещества Группа	Фракционный состав	Содержание катализатора, %		
		Поток водорода	Поток гелия	Без подачи газа
Алканы	29.65	12.10	5.525	4.015
Изоалканы	24.50	19.20	24.15	21.20
Ароматические углеводороды циклопарафины	10.25	42.40	22.30	47.25
Масла	35.70	14.15	28.30	8.660
Углеводороды, такие как этилен	3.330	-	9.250	5.550
ΣС _{1-С₅}		16.15	13.40	19.25

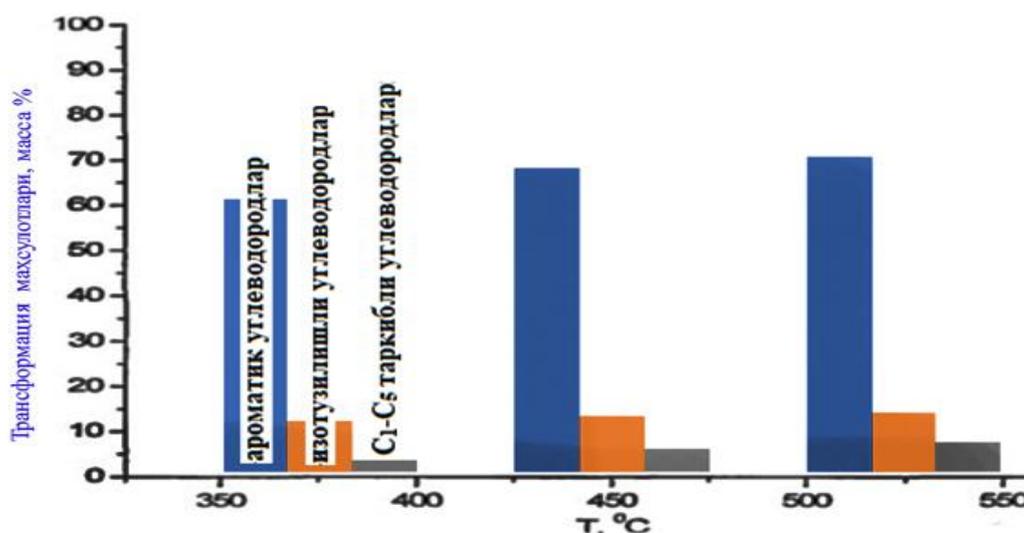
Из таблицы 2 видно, что при исследовании влияния среды на процесс облагораживания бензиновой фракции при 85-180 °С на катализаторе 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30, выбранном для каталитической ароматизации линейного гексана при температуре 500 °С и получения ароматических углеводородов, оптимальной оказалась среда без подачи газа, при этом количество полученных ароматических углеводородов составило 46,2%. высококремнистом, высококремнистом, мезопористом алюмосиликатном катализаторе Н-ЮКЦ с высокой каталитической активностью и селективностью, подобранном для каталитической ароматизации гексана с неразветвленным нормальным строением в ароматические углеводороды, главным образом бензол, толуол и ксилолы, процессы разрыва углерод-углеродных связей под действием водорода вносят существенный вклад в конверсию гексана в ароматические углеводороды (8,2% при 400°С и 15,3% при 500 °С).

Данные о продуктах превращения неразветвленного нормального гексана на катализаторе ЮКЦ с высокой каталитической активностью и селективностью, подобранном для каталитической ароматизации гексана в ароматические углеводороды представлены в таблице 3 и на рисунке 4.

Таблица 3

Результаты конверсии гексана на катализаторе ЮКЦ при атмосферном давлении и объемной скорости 0.5 ч⁻¹

Т, °С	ΣC ₁ -C ₅ , %	Σ _i , %	Σ _{Ar} , %	Коэффициент конверсии, %	Селективность, %		
					Гидрокрекинг	Изомеризация	Ароматизация
400	3.6	27.6	0,56	57.9	7.5	50.9	2.00
450	5.3	5.8	49.2	63.3	8.9	8.9	80.3
500	8.2	4.2	51.9	70.4	11.7	5.5	74.9



4-рис. Конверсия гексана в ароматические углеводороды на катализаторе ЮКЦ

Из таблицы 3 видно, что в условиях данного процесса превращение неразветвленного нормального гексана в ароматические углеводороды, преимущественно бензол, толуол и ксилолы, осуществлялось на катализаторе с высокой каталитической активностью и селективностью, который был подобран для исследуемой каталитической ароматизации гексана на катализаторе ЮКЦ. При температуре 400 °С степень превращения гексана с неразветвленным нормальным строением в ароматические углеводороды, преимущественно бензол, толуол и ксилолы, составила 57,9%, при 450 °С этот показатель составил 63,3%, а при 500 °С – почти 70,4%. Это свидетельствует о более высокой активности катализатора Н-ЮКЦ-40 по сравнению с активностью катализатора ЮКЦ. Как видно из рисунка 4, изначально при температуре 350 °С конверсия неразветвленного гексана нормального строения в ароматические углеводороды и углеводороды состава C₁–C₅ на катализаторе ЮКЦ низкая по сравнению с конверсией в изоструктурные углеводороды, но при повышении температуры до 500 °С отмечено, что конверсия неразветвленного гексана нормального строения в ароматические углеводороды значительно выше.

Конверсия гексана в ароматические углеводороды на катализаторе ЮКЦ. Значение силикатного модуля катализатора с высокой каталитической активностью и селективностью, выбранного для каталитической ароматизации гексана в ароматические углеводороды, составляет 78,5 единиц, тогда как Н-ЮКЦ-40 (55) и ЮКЦ (88,7) равно для подобных величин.

Таблица 4

Результаты превращения неразветвленного гексана нормального строения на катализаторе ЮКЦ при нормальном атмосферном давлении и объемной скорости 0,5 ч⁻¹

Т, °С	ΣC ₁ -C ₅ , %	Σ ₁ , %	Σ _{Ар} , %	Коэффициент конверсии, %	Селективность, %		
					Гидрокрекинг	Изомеризация	Ароматизация
400	3.20	12.18	62.38	82.08	4.48	13.08	67.68
450	6.78	13.45	68.86	92.49	6.87	14.58	75.28
500	7.08	14.08	73.09	95.25	8.38	15.69	78.72

Как видно из таблицы 4, катализатор с высокой каталитической активностью и селективностью, подобранный для каталитической ароматизации данного неразветвленного нормального гексана в ароматические углеводороды, в основном бензол, толуол и ксилолы, имеет

высокую степень конверсии неразветвленного нормального гексана и составляет 82% при 400 °С. При повышении температуры процесса до 500 °С конверсия н-низшего молекулярного насыщенного углеводорода существенно возрастает и составляет 95,2%.

С увеличением содержания модификатора в высококаталитическом мезопористом высококремнеземном цеолите увеличивается количество ароматических углеводородов, преимущественно бензола, толуола и ксилолов, в выбранном катализаторе каталитической ароматизации линейного нормального гексана с получением ароматических углеводородов, преимущественно бензола, толуола и ксилолов. В интервале температур 450-500 °С наибольшую ароматизирующую способность проявляет высококаталитический мезопористый высококремнеземный цеолит, модифицированный лантаном, а высококаталитический мезопористый высококремнеземный цеолит, модифицированный медью и лантаном, - нормальный. В модифицированных высококаталитических мезопористых высококремнеземных цеолитах селективность ароматизации в этом интервале температур составляет 84,5-89,2% и 79,3-83,1% соответственно.

Конверсия линейного гексана на катализаторе 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 для каталитической ароматизации гексана в ароматические углеводороды. С целью получения ароматических углеводородов и высокооктановых компонентов бензина исследован катализатор 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 с высокой каталитической активностью, подобранный для каталитической ароматизации нормального гексана в ароматические углеводороды при температурах 450, 450, 500 °С и объемной скорости подачи сырья 0,5 ч-1 при атмосферном давлении.

Результаты конверсии линейного гексана на катализаторе с высокой каталитической активностью, подобранном для каталитической ароматизации этого линейного гексана в ароматические углеводороды представлены в таблице 5.

Таблица 5

При атмосферном давлении и объемной скорости перекачки сырья 0,5 час⁻¹

Результаты конверсии линейного гексана на катализаторе 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 с высокой каталитической активностью

Т, °С	ΣC ₁ -C ₅ , %	ΣC ₅ -C ₁₂ , %	Σ _{АPУ} , %	Коэффициент конверсии, %	Селективность, %		
					Гидрокрекинг	Изомеризация	Ароматизация
400	9.22	27.85	56.32	96.12	9.640	29.32	59.15
450	15.42	7.115	72.40	97.52	15.85	7.421	75.12
500	16.32	3.125	77.94	99.92	16.44	3.224	78.01

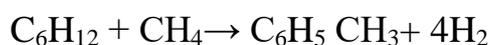
Из табл. 5 следует, что процесс превращения линейного гексана в данных условиях протекает с высокой степенью превращения при 400 °С, а при 500 °С глубина превращения составляет практически 100 % для катализатора с высокой каталитической активностью, выбранного для каталитической ароматизации исследуемого линейного гексана с получением ароматических углеводородов. Катализатор с высокой каталитической активностью, выбранный для каталитической ароматизации гексана с получением ароматических углеводородов, проявляет наибольшую активность в реакциях ароматических углеводородов из гексана с получением в основном бензола, толуола и ксилолов, однако при температуре 400 °С селективность катализатора с высокой каталитической активностью, выбранного для каталитической ароматизации гексана с получением линейных ароматических углеводородов, составляет всего 1 %.

В четвертой главе диссертации, озаглавленной “Изучение кинетики каталитической ароматизации гексана и энерго-и ресурсосберегающая технология процесса” изучены кинетические закономерности процесса получения ароматических углеводородов каталитической ароматизацией гексана и дана оценка энергии активации.

Представлены результаты превращения линейного гексана при температурах 400, 450, 500 °С на катализаторах с высокой каталитической активностью, подобранных для каталитической ароматизации линейного гексана в ароматические углеводороды: 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-20 и 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 .

С увеличением объемной скорости перекачки сырья глубина конверсии гексана линейной структуры и выход целевого продукта снижаются.

Энерго- и ресурсоэффективная реакция конверсии неразветвленного гексана нормального строения в ксилол и триметилбензол Принципиальная технология. Процесс превращения неразветвленного нормального гексана в ксилол и триметилбензол осуществляется с участием катализатора 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ. В основе процесса лежат следующие реакции:



Селективность катализатора с высокой каталитической активностью и селективностью, выбранного для каталитической ароматизации неразветвленного нормального гексана в ароматические углеводороды, в основном бензол, толуол и ксилолы, при 400 °С составляет всего 0,9%, а при 450 °С она составляет 78%. Селективность катализатора с высокой каталитической активностью и селективностью, выбранного для каталитической ароматизации неразветвленного нормального гексана в

ароматические углеводороды, в основном бензол, толуол и ксилолы, при 450 °С на 5% ниже селективности катализатора с высокой каталитической активностью и селективностью, подобранного для каталитической ароматизации неразветвленного нормального гексана в ароматические углеводороды, в основном бензол, толуол и ксилолы.

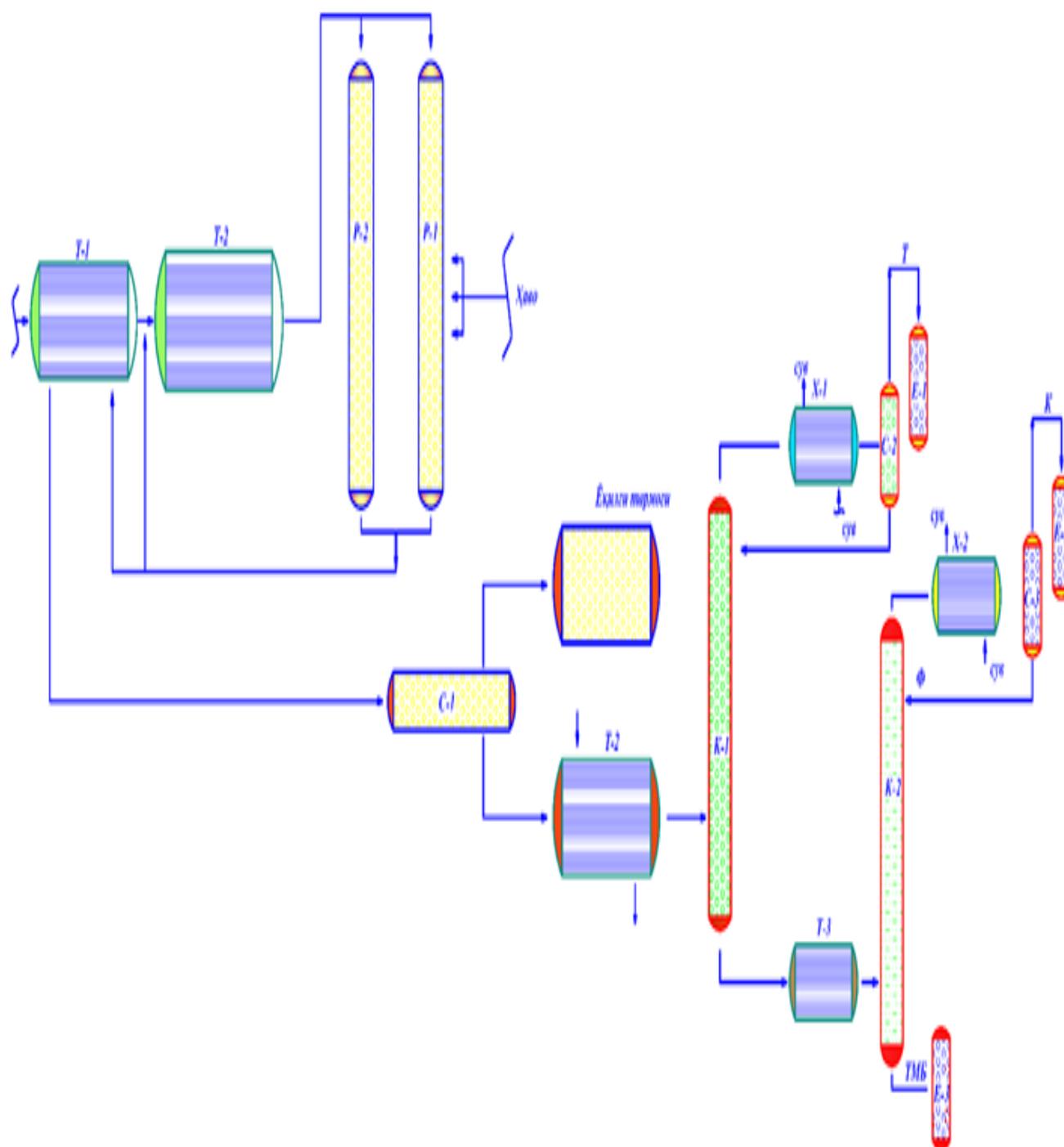


Рис. 5. Принципиальная схема процесса превращения неразветвленного нормального гексана в ксилол и триметилбензол с участием катализатора 2%La*2%Cu*8%Zn/ Н-ЮКЦ -30 и их разделения (объемная скорость потока $V_{CH_4} = 1000 \text{ час}^{-1}$; высота слоя катализатора 10 см. Т-толуол, К-ксилол, ТМБ-триметилбензол, Ф-флегма

Состав толуола 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 Каталитическая ароматизация нормального гексана в ароматические углеводороды существенно ниже, чем конверсия неразветвленного нормального гексана в тех же условиях на катализаторе с высокой каталитической активностью и селективностью, подобранном для этой цели, и составляет всего 2,3% при 500 °С.

Следует отметить, что значения характеристик пористой структуры катализаторов ЮКЦ -30 и Н-ЮКЦ -30/30% Al₂O₃ близки между собой. При этом пористая структура мезопористого ЮКЦ-30 формируется только мезопористыми кристаллами различной дисперсности, а выбранного для процесса катализатора Н-ЮКЦ-30/30% Al₂O₃ с высокими каталитическими свойствами — мезопористыми и кристаллами оксида алюминия, тогда как мезопористый Н-ЮКЦ-30 остается микропористым и существуют ограничения на вступление молекул в реакцию при диффузии к каталитически активным центрам и сохранение образующихся продуктов реакции. Результаты исследования кислотных свойств исследуемых материалов показывают, что все выбранные для процесса катализаторы с высокими каталитическими свойствами характеризуются наличием двух типов слабых и сильных кислотных центров. Известно, что высокотемпературный пик в основном относится к кислотным центрам Бренстеда, а низкотемпературный пик - к кислотным центрам Льюиса.

По сравнению с выбранным катализатором с высокими каталитическими свойствами гранулированный катализатор Н-ЮКЦ-30/30% Al₂O₃ имеет меньшую концентрацию сильных кислотных центров за счет снижения мезопористой фазы при добавлении 30% связующего.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Из местного сырья получены катализаторы 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-20 и 2%La*2%Cu*8%Zn/Н-ЮКЦ-30 на основе высококремнеземных цеолитов и проведены физико-химические исследования их структуры ;

2. Результаты исследований катализаторов ЮКЦ, Н-ЮКЦ-40 и 2%La·2%Cu·8%Zn/ Н-ЮКЦ-30: на катализаторе ЮКЦ достигнута конверсия гексана 95,2% при температуре 500 °С, тогда как на катализаторе Н-ЮКЦ-40 этот показатель составил 70,4%, а на 2%La·2%Cu·8%Zn/ Н-ЮКЦ-30 – 99,9%. Выход гомологов бензола на катализаторе ЮКЦ увеличился до 78,7%, на Н-ЮКЦ-40 – до 74,9%, на 2%La·2%Cu·8%Zn/ Н-ЮКЦ-30 – до 78,01%. На модифицированных катализаторах, особенно в вариантах с Zn и La, увеличилось количество углеводородов бензольного ряда и образовались

продукты с высоким октановым числом. Катализатор 2%La·2%Cu·8%Zn/ H-ЮКЦ-30 показал высокую эффективность при температурах 450–500 °С.

3. Разработана оптимальная технологическая схема получения ксилола и триметилбензола из неразветвленного нормального гексана, включающая двухступенчатый реактор, две ректификационные колонны, модули нагрева и охлаждения.

4. Экономическая эффективность: Общая себестоимость производства 1 тонны катализатора составила 367.2 млн. сум, что на 14,6% дешевле импортных катализаторов Mo/ZSM-5.

Установлено, что катализатор 2%La·2%Cu·8%Zn/ H-ЮКЦ -30 обладает высокой экономической и технологической конкурентоспособностью, как отечественный импортозамещающий продукт.

5. Современные исследования показали, что катализатор 2%La·2%Cu·8%Zn/ H-ЮКЦ-30 является наиболее эффективным, обеспечивая высокий выход высокооктановых продуктов и высокую селективность в превращении гексана в гомологи бензола. Активность катализатора, длительный цикл регенерации, экологичность продукции и экономические преимущества делают его пригодным для промышленного применения.

**SINGLE SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.16/30.12.2019.K/T.87.01 AT TASHKENT SCIENTIFIC RESEARCH
INSTITUTE OF CHEMICAL TECHNOLOGY**

**YANGIYER BRANCH OF TASHKENT CHEMICAL-TECHNOLOGICAL
INSTITUTE**

MAKHKAMOV BAKHROM

**PREPARATION OF MODIFIED ZEOLITE CATALYSTS AND THEIR
APPLICATION IN THE AROMATISATION PROCESS OF NORMAL
HEXANE**

02.00.14-Technology of organic substances and materials based on them

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

Toshkent-2026

The topic of a doctoral dissertation (PhD) is registered with the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under the number B2025.1.PhD/T5248

The doctoral dissertation was completed at the Yangiyer branch of the Tashkent Chemical-Technological Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Academic Council (www.tktiti.uz) and on the Information and Educational Portal "Zionet" (www.zionet.uz)

Scientific adviser:	Faizullaev Normurot Ibodullaevich Doctor of Technical Sciences, professor
Official opponent:	Yodgorov Normuhammad Doctor of Technical Sciences, professor Sottiqulov Elyor Sotimboyevich Doctor of Technical Sciences, assistant professor
Leading organization:	Fergana State Technical University

The defense of the dissertation will take place on " " January 2026 at "9⁰⁰" hours at a meeting of the Scientific Council DSc.16/30.12.2019.K/T.78.01 at the Tashkent Research Institute of Chemical Technology at the address: 111116, Tashkent region, Tashkent district, pos. Ibrat n/a Shurabazar phone: (+99895) 144-67-83, E-mail: ooo_tniixt@mail.ru, TKTITI@exat.uz).

The dissertation was registered at the Information Resource Center of Tashkent Scientific Research Institute of Chemical Technology No. 2026/02, which can be found at the IRC (111116, Tashkent region, Tashkent district, Shurabazar phone: (+99895) 144-67-83, E-mail: ooo_tniixt@mail.ru, TKTITI@exat.uz).

The abstract of the dissertation was sent out " " december 2025.

(distribution protocol No. 2026/02 dated " " January 2026).

A.T. Djalilov
Chairman of the scientific council for
awarding of the scientific degrees,
doctor of chemical sciences, akademik

Sh.N. Qiyomov
Scientific secretary of the scientific
council for awarding the scientific degrees,
doctor of technical sciences, senior researcher

H.S. Beknazarov
Chairman of the scientific seminar under scientific
council for awarding the scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

Introduction (abstract of PhD dissertation)

The aim of the project is to obtain highly catalytic zeolite catalysts modified from local raw materials and to use them in the conversion of normal hexane to benzene homologues, as well as to study the dependence of product selectivity on the structure, composition, and acidic properties of zeolites.

The objects As a catalyst, hexane of normal structure, local raw material Navbahor bentonite, and metal salts and oxides for catalysts with high productivity and selectivity were obtained..

The scientific novelty of the research is as follows:

zeolite catalysts with high catalytic properties with high silicon content of different composition were obtained from local raw materials and their structure and properties of active centers were determined;

in order to verify the dependence of the catalytic activity of selected catalysts with high productivity and selectivity on their structural and morphological structure, the relationship between textural and physicochemical characteristics of catalysts during the conversion of hexane with a normal structure to catalytic benzene homologues was determined;

in the reaction of conversion of hexane of normal structure into catalytic benzene homologues in the presence of catalysts, the optimal composition of catalytic systems was determined based on the laws of the conversion reaction of zeolite catalysts with high catalytic properties obtained in different compositions and by different methods to benzene homologues;

It was found that the following catalysts with high productivity and selectivity obtained by hydrothermal processing,

2%La*2%Cu*8%Zn/N-YUKC-20, 2%La*2%Cu*8%Zn/N-YUKC-30 and 2%La*2%Cu*8%Zn/N-YUKC-40, have high stability properties, i.e. low coking degree;

a principle technology for the production of benzene homologues and branched saturated hydrocarbons by converting normal hexane with the participation of catalysts created on the basis of local raw materials is proposed.

Implementation of the research results.

Based on the scientific results obtained on the production of catalysts for the catalytic conversion of normal-structure hexane to obtain benzene homologues and branched-structure saturated hydrocarbons: Catalysts of the composition N-YUKC-40, 2%La*2%Cu*8%Zn/N-YUKC-20, 2%La*2%Cu*8%Zn/N-YUKC-30 and 2%La*2%Cu*8%Zn/N-YUKC-40, obtained from local raw materials, were put into production at “Shurtan Oil and Gas Production Department” (Reference No. OP24/ED-4177 of the “Shurtan Oil and Gas Production Department” dated October 28, 2024). As a result, the use of a new catalyst made it possible to obtain benzene homologues and branched-structured saturated hydrocarbons from normal-structured hexane and achieve economic efficiency;

The technology of catalytic conversion of normal-structured hexane to benzene homologues and branched-structured saturated hydrocarbons using

catalysts obtained from local raw materials without the participation of oxidants was put into practice at the Shurtan Oil and Gas Production Department of (Act of the Shurtan Oil and Gas Production Department dated October 21, 2024). As a result, using the catalyst composition N-YUKC-40, 2%La*2%Cu*8%Zn/N-YUKC-20, 2%La*2%Cu*8%Zn/N-YUKC-30 and 2%La*2%Cu*8%Zn/N-YUKC-40, it was possible to obtain benzene homologues and branched saturated hydrocarbons from normal hexane.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 109 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Rahmatov X. B., Fayzullaev N. I., Makhamov B.A., Rakhmatov D. Kh., Ismoilova N. F., Omonqulov S. T. Highly expressed mesoporous synthesis based on kaolin aluminosilicate. // Science and Innovation International Scientific Journal Volume 2 Issue 12 December 2023. pp.110-117. (02.00.00; IF);
2. Makhamov B.A., Fayzullaev N. I., Rahmatov X. B., Rakhmatov D. Kh., Ismoilova N. F., Omonqulov S. T. Development of a binding-free method for the synthesis of aluminosilicates NaA. // Science and Innovation International Scientific Journal Volume 2 Issue 12 December 2023. pp.118-125 (02.00.00; IF);
3. Fayzullaev N., Rahmatov Kh., Makhamov B.A., Mukhamedbayeva Z., Eshmuratova R., Asamov J., Azizova Kh., Rifky M. Obtaining aromatic carbohydrates by catalytic aromatization of hexane with a linear structure // E3S Web of Conferences 524, 0 (2024) APEC-VII-2024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452403005>;
4. Fayzullaev N., Rahmatov Kh., Makhamov B.A., Mukhamedbayeva Z., Boyzoqov A., Jabborov A., Hodjiyev O., Pardaboyeva Sh. The process of obtaining aromatic hydrocarbons by catalytic aromatization of normal hexane on the (2%La*2%Cu*8%Zn/HHSZ-30) catalyst // E3S Web of Conferences 524, 0 (2024) APEC-VII-2024. pp. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452403010>;
5. Fayzullaev N.I., Rahmatov X.B., Imoilova N.F., Pardaboyeva Sh.B. Mis saqlovchi katalizatorlarda normal tuzilishli geksanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasi. // "Central asian food engineering and technology" Elektron ilmiy jurnali. 2024/2 fevral 22-30 b. (OAK rayosatining 2023 yil 28-fevraldagi 333/5-son qarori);
6. Makhamov B.A., Fayzullaev N.I., Rahmatov X.B., Makhamov B.A., Imoilova N.F., Egamov B.X. Tarkibi 2%La*2%Cu*8%Zn/H-YUKTS-30 va 2%La*2%Cu*8%Zn/H-YUKTS-20 bo'lgan katalizatorlarda chiziqli normal geksanni aromatlash jarayonini tadqiqoti // "Central asian food engineering and technology" Elektron ilmiy jurnali. 2024/2 fevral. 31-39 b. (OAK rayosatining 2023 yil 28-fevraldagi 333/5-son qarori);

II бўлим (II часть; II part)

7. Maxkamov B.A., Rahmatov X.B. Modifikatsiyalangan mezog'ovakli tseolitda geksanning konversiyasi // «Oziq-ovqat xavfsizligi: global muammolarning innovatsion yechimlari» Xalqaro ilmiy-amaliy anjumani maqolalari to'plami. Namangan shahri, 4-5 iyun 2024 yil. 637-640 b.
8. Maxkamov B.A., Rahmatov X.B. Kremniyli tseolitlarda normal geksanni aromatlash. // «Oziq-ovqat xavfsizligi: global muammolarning innovatsion yechimlari» Xalqaro ilmiy-amaliy anjumani maqolalari to'plami. Namangan shahri, 4-5 iyun 2024 yil. 640-643 b.

9. Maxkamov B.A., Fayzullayev N.I., Rahmatov X.B. Tseolitli katalizatorlarda normal geksanning konversiyasi. // Tabiiy fanlarni o'qitishning dolzarb muammolari, zamonaviy yondashuvlari va istiqbollari mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. Buxoro shahri 2024 yil 20-may. 412-413 b.

10. Maxkamov B.A., Fayzullayev N.I., Rahmatov X.B. Modifikatsiyalangan tseolitli katalizatorlarda normal geksanning konversiyasi. // Tabiiy fanlarni o'qitishning dolzarb muammolari, zamonaviy yondashuvlari va istiqbollari mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. Buxoro shahri 2024 yil 20-may. 413-415 b.

11. Normurot Fayzullaev, Makhkamov Bakhrom. Aromatization of linear-structured hexane using siliconcontaining ceolites with high catalytic properties. // Инновационные технологии переработки минеральных и вторичных ресурсов в химической и пищевой промышленности. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. 16 – 17 октября 2025 г. 556-560 с.

Avtoreferat «O‘zbekiston kimyo jurnali» tahririyatida tahrir qilindi.



№ 10-3279

Bosishga ruxsat etildi: 18.12.2025.

Bichimi: 60x84^{1/16} «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.

Shartli bosma tabog‘i 2,8. Adadi 100. Buyurtma: № 216

Tel: (99) 832 99 79; (77) 300 99 09

Guvohnoma reestr № 10-3279

“IMPRESS MEDIA” MChJ bosmaxonasida chop etildi.

Manzil: Toshkent sh., Yakkasaroy tumani, Qushbegi ko‘chasi, 6-uy.