AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

POLİMERLƏRƏ İMMOBİLİZƏ OLUNMUŞ NANOÖLÇÜLÜ MANQAN KATALİZATORLARININ İŞTİRAKI İLƏ n-C_6-C_8 ALKANLARIN OKSİDLƏŞMƏSİ

İxtisas: 2316.01 – "Kimyəvi kinetika və kataliz"

Elm sahəsi: Kimya

İddiaçı: **Aygün Fəxrəddin qızı İsazadə**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2026

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi "Kimya İnstitutu" PHŞ-nin "Nanostrukturlaşdırılmış metal-polimer katalizatorları" laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: kimya elmləri doktoru
Nizami Allahverdi oğlu Zeynalov

Elmi məsləhətçi: AMEA-nın həqiqi üzvü,
kimya elmləri doktoru, professor
Dilqəm Bəbir oğlu Tağıyev

Rəsmi opponentlər: AMEA-nın müxbir üzvü,
kimya elmləri doktoru, professor
İslam İsrafil oğlu Mustafayev

kimya elmləri doktoru, professor
Səfa İslam oğlu Abasov

kimya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Nuranə İsmayıl qızı Abbasova

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi "Kimya İnstitutu" PHŞ-nin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.15 Dissertasiya şurası.

Dissertasiya şurasının sədri: AMEA-nın müxbir üzvü,
kimya elmləri doktoru, professor
Məhəmməd Baba oğlu Babanlı

Dissertasiya şurasının elmi katibi: kimya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Ülviyyə Əhməd qızı Məmmədova

Elmi seminarın sədri: kimya elmləri doktoru, professor
Arif Cavanşir oğlu Əfəndi

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Doymuş karbohidrogenlərin selektiv katalitik oksidləşməsi müasir kimya və kataliz elminin mühüm və intensiv inkişaf edən istiqamətlərindən biridir. Bu proseslər neft-kimya sənayesi, üzvi sintez, polimer materiallarının istehsalı və digər kimya sahələri üçün böyük əhəmiyyət kəsb edən spirtlərin, aldehidlərin və ketonların alınmasının elmi əsasını təşkil edir. Karbohidrogenlərin birbaşa oksidləşməsi texnoloji mərhələlərin sayının azaldılmasına, proseslərin iqtisadi səmərəliliyinin yüksəldilməsinə və ekoloji cəhətdən daha təhlükəsiz texnologiyaların yaradılmasına imkan verir[1].

Lakin n-alkanların yüksək kimyəvi sabitliyi onların selektiv oksidləşməsini xeyli çətinləşdirir. Molekuldakı C-H rabitələrinin yüksək möhkəmliyi və funksional qrupların olmaması reaksiyanın mülayim şəraitdə həyata keçirilməsini məhdudlaşdıran əsas amillərdəndir. Digər tərəfdən, ilkin oksidləşmə məhsulları başlanğıc n-alkanlardan daha yüksək reaksiya qabiliyyətinə malik olduqlarına görə sonrakı çevrilmələrə asanlıqla məruz qalır ki, bu da məqsədli məhsulların selektiv çıxımının azalmasına səbəb olur. Buna görə də həm karbohidrogen molekulunu, həm də molekulyar oksigeni aktivləşdirə bilən yeni katalitik sistemlərin yaradılması müasir kataliz elminin aktual problemlərindən biri hesab olunur[2].

Son illərdə keçid metalların komplekslərinin polimer daşıyıcılarda immobilizasiyasına əsaslanan katalitik sistemlərə maraq əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır [3] [4] . Belə sistemlər homogen

[1] Xiaohui G., Yuting B., Hao Z., Xingyi W. Catalytic oxidation of n-decane, n-hexane, and propane over Pt/CeO_2 catalysts // ACS Omega, 2023, v.8, -p. 6791−6800

[2] Farook, A. Oxidation of n-heptane over functionalised chromium/silver bimetallic heterogeneous catalyst / A. Farook, C.Thiam-Seng, A. Ramasanthiran // Journal of Physical Science. – 2013. V.24, №1, – p.51–59.

[3] Chen, S., Metal coordination center mediated microenvironment regulation of cobalt sites on poly(ionic liquid)s enhance selective oxidation of cyclohexane conversion / Chen, S., He, B., Li, Y. [et al.] // Chemical Engineering Journal, - 2024. V.488, 150865.

katalizatorların yüksək aktivliyini heterogen katalizatorların texnoloji üstünlükləri ilə birləşdirir. Aktiv mərkəzlərin polimer daşıyıcıya bərkidilməsi onların stabilliyini artırır, katalizatorun reaksiya mühitindən ayrılmasını asanlaşdırır və onun təkrar istifadə imkanlarını genişləndirir. Bununla yanaşı, polimer daşıyıcının quruluşu ilə katalitik aktivlik arasındakı qarşılıqlı əlaqə, aktiv mərkəzlərin təbiəti və onların fəaliyyət mexanizmi hələ də kifayət qədər öyrənilməmişdir.

Bu baxımdan manqan tərkibli polimer katalizatorların sintezi, onların fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərin öyrənilməsi və bu katalizatorların iştirakı ilə n-heksan, n-heptan və n-oktanın havanın oksigeni ilə selektiv katalitik oksidləşmə qanunauyğunluqlarının tətbiqi mühüm elmi maraq doğurur. Temperaturun, katalizatorun tərkibinin, metalın miqdarının və substratın təbiətinin prosesin sürətinə, selektivliyinə və katalizatorun stabilliyinə təsirinin müəyyən edilməsi katalitik oksidləşmə mexanizminin daha dərindən anlaşılmasına və yeni yüksək səmərəli katalitik sistemlərin işlənib hazırlanmasına imkan verir.

Beləliklə, n-heksan, n-heptan, n-oktanın havanın oksigeni ilə mülayim şəraitdə selektiv katalitik oksidləşməsi üçün manqan tərkibli polimer katalizatorların yaradılması, onların katalitik xüsusiyyətlərinin, aktiv mərkəzlərinin təbiətinin və prosesin kinetik qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi həm fundamanetal kimya elmi, həm də tətbiqi kataliz baxımından mühüm elmi və praktiki əhəmiyyətə malikdir.

Tədqiqatın obyekti və predmeti. n-Alkanların (n-C_6-C_8) mülayim şəraitdə oksidləşməsi üçün manqan, poli-4-vinilpiridin əsaslı metal-polimer katalitik sistemlər tədqiqatın obyekti, tədqiqatın predmeti isə bu sistemlərin sintezi və göstərilən reaksiyalarda katalitik xassələrinin tədqiqi olmuşdur.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Poli-4-vinilpiridin və manqan birləşmələri əsasında immobilizə olunmuş metal-polimer

---

[4] Джардималиева, Г.И. Полимер-иммобилизованные кластеры и наночастицы металлов в катализе / Г.И.Джардималиева, А.К.Жармагамбетова, С.Е.Кудайбергенов // Кинетика И Катализ, – 2020. – Т. 61, № 2. – С. 195–224.

katalizatorların yaradılması, onların katalitik xassələrinin mülayim şəraitdə maye fazada n-alkanların (n-C_6-C_8) havanın oksigeni ilə oksidləşməsi reaksiyalarında tədqiqi və bu reaksiyaların kinetik qanunauyğunluqlarının araşdırılması və selektiv katalitik oksidləşmə mexanizminin seçilməsindən ibarətdir.

Tədqiqatın məqsədinə nail olmaq üçün qarşıya qoyulan vəzifələr:

- Poli-4-vinilpiridin və manqan birləşmələri əsasında immobilizə olunmuş metal-polimer katalizatorların sintezi;
- Müasir analiz metodlarından istifadə etməklə alınmış katalizatorların fiziki-kimyəvi xassələrinin tədqiqi;
-Yaradılmış katalizatorların katalitik aktivliyinin n-heksan, n-heptan və n-oktanın havanın oksigeni ilə selektiv oksidləşməsi reaksiyalarında öyrənilməsi;
- Temperaturun, manqanın miqdarının, reaksiya müddətinin və digər amillərin katalitik oksidləşmə prosesinə təsirinin müəyyən edilməsi;
- Prosesin kinetik qanunauyğunluqlarının tədqiqi, reaksiyanın tərtiblərinin və aktivləşmə enerjisinin təyin edilməsi;
- Katalizatorların stabilliyi və onların təkrar istifadə imkanlarının öyrənilməsi;
- Təcrübi nəticələr əsasında immobilizə olunmuş metal-polimer katalizatorların iştirakı ilə n-alkanların (n-C_6–C_8) selektiv katalitik oksidləşməsinin koordinasion-nəzarətli radikal mexanizminin təklif edilməsi.

Tədqiqatın metodları. İşin müxtəlif mərhələlərində hazırlanmış katalizatorların morfoloji və katalitik xüsusiyyətlərinin tədqiqi üçün aşağıdakı fiziki-kimyəvi üsullar istifadə edilmişdir:

İnfraqırmızı Spektroskopiya İQ (Thermo Scientific “Nicolet IS 10), Rentgen Faza RFA (“Bruker” “D2-Phaser”), Skanedici Elektron Mikroskopiyası SEM (JSM-6610LV, JEOL), Elektron Paramaqnit Rezonans EPR (Bruker’s ELEXSYS-E580), Termoqravimietrik analiz TQA (TA İnstruments SDT-Q600). O cümlədən tədqiq olunan katalizatorlardan istifadə edərək, aparılmış oksidləşmə proseslərində ilkin maddələrin və reaksiya məhsullarının analizi FID detektorlu Agilent 7890B qaz xromatoqrafı ilə müəyyən edilmişdir.

Müdafiyəyə çıxarılan əsas müddəalar aşağıda qeyd olunanlardan ibarətdir:

- Poli-4-vinilpiridin və manqan birləşmələri əsasında yeni immobilizə olunmuş metal-polimer katalizatorların alınma üsulu;
- Yaradılmış katalizatorların iştirakı ilə n-heksan, n-heptan və n-oktanın havanın oksigeni ilə selektiv katalitik oksidləşməsinin qanunauyğunluqları;
- Katalizatorlara, havanın oksigeninə və alkana görə reaksiyanın tərtibləri, eləcə də aktivləşmə enerjisi daxil olmaqla prosesin kinetik qanunauyğunluqları;
- Koordinasion-aktiv mərkəzlərin təbiəti və polimer daşıyıcının katalitik sistemin xassələrinə təsiri;
- İmmobilizə olunmuş metal-polimer katalizatorların iştirakı ilə n-alkanların (n-C_6–C_8) selektiv katalitik oksidləşməsinin koordinasion-nəzarətli radikal mexanizmi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. n-Alkanların (n-C_6–C_8) havanın molekulyar oksigeni ilə mülayim şəraitdə selektiv katalitik oksidləşməsi üçün poli-4-vinilpiridinə immobilizə olunmuş manqan birləşmələri əsasında yeni metal-polimer katalizatorun sintez üsulu işlənilmişdir.

Kinetik, spektral və katalitik tədqiqatlar əsasında, yaradılmış metallopolimer sistemin xüsusiyyətlərini nəzərə alan və aktiv mərkəzlərin tərkibində koordinasion olunmuş Mn(II) ⇄ Mn(III) ⇄ Mn(IV) dönər keçidlərini əhatə edən n-alkanların (n-C_6–C_8) katalitik oksidləşməsinin ən ehtimal olunan koordinasion-nəzarətli radikal mexanizmi təklif edilmişdir.

Katalitik aktiv mərkəzlərin təbiəti poli-4-vinilpiridin polimer daşıyıcısına bərkidilmiş və izolə olunmuş manqanın koordinasiya düyünləri kimi əsaslandırılmışdır. Göstərilmişdir ki, aktiv mərkəzlərin belə quruluşu onların müstəqil fəaliyyətini, prosesin yüksək selektivliyini və katalizatorun dəfələrlə istifadə zamanı yüksək stabilliyini təmin edir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Tədqiqatın nəzəri əhəmiyyəti immobilizə olunmuş metal-polimer katalizatorların iştirakı ilə n-alkanların (n-C_6-C_8) selektiv katalitik oksidləşməsinin qanunauyğunluqları haqqında mülahizələrə əsaslanır. Koordinasion-

aktiv mərkəzlərin quruluşu, prosesin kinetik parametrləri və katalitik oksidləşmə mexanizmi arasında qarşılıqlı əlaqə müəyyən olunmuşdur. İmmobilizə olunmuş metal-polimer katalitik sistemlərin əsas xüsusiyyətini nəzərə alan, reaksiyanın koordinasion-nəzarətli radikal mexanizmi təklif edilmişdir.

Poli-4-vinilpiridin və manqan birləşmələri əsasında n-alkanların (n-C_6–C_8) havanın oksigeni ilə mülayim şəraitdə selektiv katalitik oksidləşməsi üçün immobilizə olunmuş effektiv metal-polimer katalizatorlar sintez edilmişdir.

Alınmış nəticələr karbohidrogenlərin selektiv oksidləşməsi prosesləri üçün yeni katalitik sistemlərin işlənib hazırlanmasında, həmçinin oksigenli üzvi birləşmələrin alınması məqsədilə resurslara qənaət edən və ekoloji cəhətdən daha təhlükəsiz texnologiyaların yaradılmasında istifadə oluna bilər.

Dissertasiya işinin aprobasiyası və tətbiqi.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıda qeyd edilmiş respublika və beynəlxalq konfranslarda məruzə və müzakirə edilmişdir:

1. Scientific Research-2019, IV International Scientific Practical Conference, (Czech Republic, Karlovy Vary-Russia, Moscow 2019);

2. XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry. Tom 1, Section 1 (Saint Petersburg 2019);

3. BANM, Ümummilli lider H.Əliyevin 96-cı il dönümünə həsr olunmuş "Kimya və kimya mühəndisliyində perspektivlər" Tələbələrin I Respublika Elmi Konfransı (Bakı 2019);

4. BDU, Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-cı ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistrant, gənc tədqiqatların "Kimyanın Aktual Problemləri" XIII Beynəlxalq Elmi Konfransı (Bakı, 2019);

5. BANM, Ümummilli lider H.Əliyevin 99-cu ildönümünə həsr olunmuş "Kimya və kimya mühəndisliyində dayanıqlı inkişaf" tələbə və gənc tədqiqatçıların III Beynəlxalq Elmi Konfransı (Bakı 2022);

6. Scientific Collection «InterConf», (117): with the Proceedings of the 6th International Scientific and Practical

Conference «Scientific Goals and Purposes in XXI Century» (Seattle, USA 2022);

7. BDU, Bakı və region gənclərinin I elmi konfransı (Bakı 2023)**;**

8. BANM, Ümummilli lider H.Əliyevin 101-ci il dönümünə həsr olunmuş "Dayanaqlı kimya və kimya mühəndisliyinə doğru" tələbələr və gənc tədqiqatçıların V beynəlxalq elmi konfransı (Bakı 2024)**;**

9. KQÜKİ, Akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun 90 illik yubileyinə və Akademik Toğrul Şahtaxtinskinin anadan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş RESPUBLİKA KONFRANSI (Bakı 2025);

10. Qrant layihə: Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Elmin İnkişaf Fondunun. EIF-ETL-2020-2 (36) -16 / 09/4-M-09 nömrəli "Normal alkanların sənaye əhəmiyyətli məhsullara selektiv oksidləşməsi üçün yaddaş effektinə malik nanokatalizatorların yaradılması" layihəsi (Bakı 2020).

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi "Kimya İnstitutu" PHŞ-nin "Nanostrukturlaşdırılmış metal-polimer katalizatorları" laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiya işinin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi giriş (13.502), 4 fəsil (I fəsil 63.995, II fəsil 30.158, III fəsil 26.392, IV fəsil 32.395 işarə), nəticələr (3.927) və istifadə olunmuş 263 ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. 38 şəkil, 13 cədvəl daxil olmaqla işin ümumi həcmi 156 kompüter çap vərəqi və 170.888 işarədən təşkil olunmuşdur.

Tədqiqatın nəticələrinin etibarlılıq dərəcəsi.

Alınmış nəticələrin etibarlılığı müasir fiziki-kimyəvi analiz üsullarından (FTIR, UV, EPR spektroskopiyası) istifadə olunması, təcrübi nəticələrin təkrarlana bilməsi, katalitik proseslərin kinetikasının öyrənilməsi üçün ümumi qəbul olunmuş tədqiqat metodlarının tətbiqi, eləcə də təcrübi nəticələrin təklif olunan reaksiya mexanizmi və karbohidrogenlərin katalitik oksidləşməsi haqqında müasir elmi ədəbiyyatda qəbul edilmiş təsəvvürlərlə uyğunluğu təmin olunur.

Eyni zamanda, yüksək reytinqli elmmetrik bazalarda (SCOPUS və Web of Science) dərc olunmuş nəşrlər, Respublika və beynəlxalq konfranslarda məruzə edilmiş tezislərlə təsdiq edilmişdir. Dissertasiya işinin mövzusu üzrə 19 elmi əsər dərc olunmuşdur. Onlardan 10 məqalə (onlardan 9-u beynəlxalq xülasələndirmə və indeksləmə sistemlərinə daxil olan), 9 məruzə tezisidir. Tezislərdən altısı beynəlxalq, üçü isə respublika elmi konfrans materiallarında dərc olunmuşdur.

Müəllifin şəxsi töhfəsi dissertasiya işinin məqsədinin və vəzifəsinin müəyyən edilməsi, katalizatorların sintezi və oksidləşmə prosesi üçün nəzəri və təcrübi araşdırılmaların böyük hissəsinin yerinə yetirilməsi, elmi məqalələrin və məruzələrin hazırlanması məsələlərini əhatə edir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Giriş hissədə tədqiqat mövzusunun aktuallığı, işin məqsədi, həll olunacaq məsələlər, elmi yeniliklər, işin praktiki əhəmiyyəti, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar müəyyənləşdirilmişdir.

Birinci fəsildə n-alkanların oksidləşmə reaksiyası sahəsində tədqiqatların müasir vəziyyətinə baxılmış, eyni zamanda polimer-metal əsaslı katalizatorların alınması üsulları araşdırılmışdır [9, 10].

İkinci fəsildə manqan *Mn* və poli-4-vinilpiridin *P4VP* əsaslı polimer-metal kompleks katalizatorların hazırlanması [3, 5-6], prosesin aparıldığı stasionar tipli laboratoriya təcrübə qurğusu təsvir olunmuş, reagentlərin və reaksiya məhsullarının müxtəlif fiziki-kimyəvi üsullarla identifikasiyası, xassələrinin, element tərkibinin öyrənilməsi metodikası verilmişdir.

Üçüncü fəsildə metal-polimer tərkibli katalizatorun iştirakı ilə götürülmüş substratların (n-C_6-C_8) C-H σ- rabitəsinin effektiv aktivləşdirilməsinin təsdiqini əks etdirən sınaq təcrübələrin nəticələri verilmişdir. n-Alkanların selektiv oksidləşməsi üçün MnP4VP və MnP4VP/MBAA polimer əsaslı heterogen katalizatorların uğurla istifadə oluna biləcəyi bu tədqiqat işində müəyyən edilmişdir.

Polimerə immobilizə olunmuş katalitik sistemlərin aktivliyinin öyrənilməsi məqsədilə reaksiyalar 303-383 K temperatur

intervalında, n-alkan:hava= 1 : 3.38 mol nisbətində, stasionar tipli reaktorda, eləcə də "MORİ" tipli avtoklavda altı saat (hidravlik tutma vaxtı t = 6 saat) müddətində aparılmış və reaksiyanın kinetik sahədə getməsini təmin edən optimal şərait seçilmişdir [6-8, 11-14, 16, 17].

Cədvəl 1.

***T* = 313 K, n-C_6H_{14}:hava =1:3.38 molyar nisbətdə və t = 6 saat müddətində n-heksanın oksidləşmə reaksiyasının nəticəsi:**
Təcrübələrin şərti: n-C_6H_{14}:hava =1:3.38, m_{kat}=0,3qr, həlledici CH_3CN, T = 313 K, P=1atm, t = 6 saat

№	Katalizator	Heksanın konversi-yası, ξ,%	Reaksiya məhsullarının çıxımı, A, küt.%					S_{C6ol-1},%	S_{C6ol-2},%	S_{C6ol-3},%
			C_6H_{13}-1-ol	C_6H_{13}-2-ol	C_6H_{13}-3-ol	Heksanal	Heksanon			
1.	Mn(2%) P4VP[x]	20.6	-	17.1	0.8	1.8	0.9	-	83	3.9
2.	Mn(5%) P4VP [x]	28.7	0.8	15.2	2.5	6.3	3.9	2.8	53	8.7
3.	Mn(10%) P4VP[x]	17.3	-	11.7	0.6	3.2	1.8	-	67.6	3.5
4.	Mn(2%) P4VP/MBAA[xx]	34.4	1.6	22.5	3.4	4.2	2.7	4.65	65.4	9.9
5.	Mn (5%) P4VP/MBAA[xx]	42.6	2.9	18.1	4.6	10.7	6.3	6.8	42.5	10.7
6.	Mn(10%) P4VP/MBAA[xx]	27.4	0.9	14.8	2.2	6.1	3.4	3.28	54	8.02

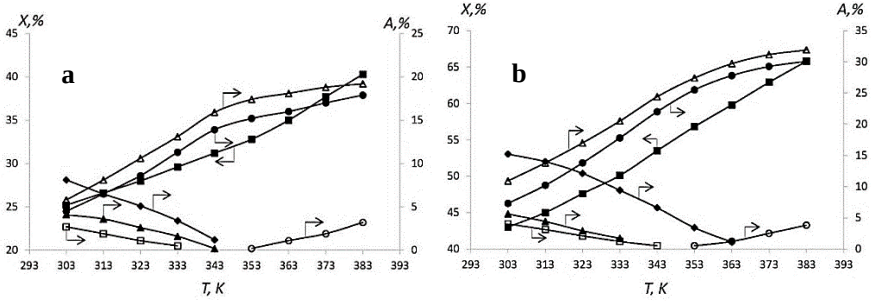
[x]-tikilməmiş; [xx]-tikilmiş metal-polimer katalizatorları

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi tikilməmiş 2%MnP4VP və 10%MnP4VP katalizatorların iştirakında heksan-1-ol-un alınması müşahidə olunmayıb (cədvəl 1, təcrübə № 1, 3), lakin N,N'-metilenbisakrilamid *MBAA* ilə tikildikdə heksanol-1 müvafiq olaraq, A ≈1.6%, A ≈0.9% çıxımda alınmışdır (təc. № 4, 6). Heksanol-2-yə görə ən yaxşı aktivliyi 2% metal saxlayan modifikasiya olunmuş katalizator göstərmişdir, 22.5%. Birli spirtin alınması 5%Mn tərkibli hər iki tikilmiş və tikilməmiş katalizatorlar üzərində müşahidə olunub, çıxım müvafiq olaraq, 0.8 və 2.9%, ən yüksək selektivlik isə 5% Mn/MBAA əsaslı katalizatorda müşahidə olunmuşdur, $S_{C6ol-1} \approx 6.8\%$ (təc. № 2 və 5). Cədvəl məlumatlarından göründüyü kimi ən yüksək selektivlik heksanol-2-də müşahidə olunmuşdur; 2%MnP4VP tərkibli katalizatorda $S_{C6ol-2} \approx$ 83% olmuşdur. Karbonil birləşmələrin - heksanon və heksanalın daha çox

miqdarı 5 küt.% Mn saxlayan katalizatorda müşahidə olunmuşdur, təc. № 2, 5. Bu da onunla izah olunur ki, 5 küt.% Mn saxlayan MnP4VP və MnP4VP/MBAA komplekslərində manqan hissəcikləri daşıyıcı P4VP üzərində daha bərabər paylanmışdır.

MnP4VP (a) və MnP4VP/MBAA (b) katalizatorları üzərində n-heksanın məqsədli məhsullara (spirtlərə, aldehidlərə, ketonlara) görə parsial oksidləşməsi zamanı konversiyanın və məhsulların çıxımının A, (%) temperaturdan asılılıqları Şəkil 1 a və b qrafiklərində verilmişdir.

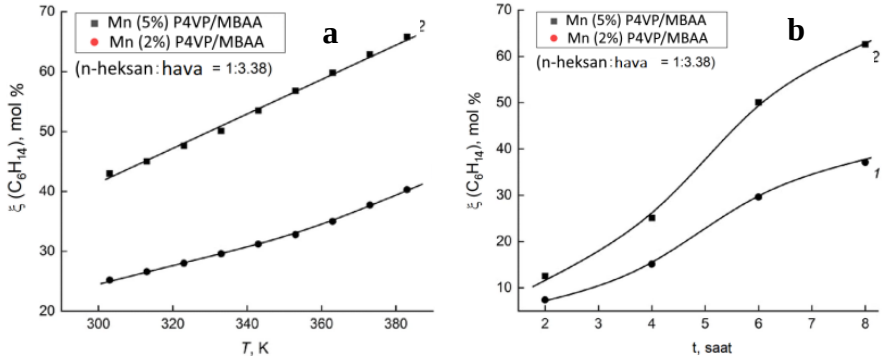
Qrafiklərə baxdıqda aydın olur ki, həm tikilməmiş (a), həm də MBAA tikici agenti ilə tikilmiş (b) katalizatorların iştirakında, bütün öyrənilmiş temperatur intervallarında (303 – 383 K) temperatur artdıqca aldehid və ketonun çıxımı artır, eyni zamanda 383 K-də yan məhsullar (turşu qarışığı) əmələ gəlir, lakin spirtlərin çıxımının temperaturdan asılılıq əyrisi maksimumdan keçir; 330 K-dən yüksək temperaturlarda heksan-1,2,3-ol-ların çıxımının azalması onların digər oksigenli üzvi birləşmələrə (aldehidlərə və ketonlara) oksidləşməsi ilə əlaqədardır. Əgər biz diqqətlə məhsulların çıxımının temperaturdan asılı olaraq necə dəyişdiyinə baxsaq Şəkil 1 b-dən görə bilərik ki, aşağı temperaturda (303 K) spirtlərə görə çıxım maksimum olmuşdur, müvafiq olaraq, $\sum A_{spirtlər} = 24.8\%$, lakin temperatur artdıqca spirtlərin çıxımı tədricən azalmış və heksanol-1 artıq 353 K, heksanol-2 373 K, heksanol-3 isə 343 K-də müşahidə edilməmişdir.



Şəkil 1. MnP4VP (a) və MnP4VP/MBAA (b) katalizatorları üzərində n-heksanın oksidləşməsi: □-ol-1, ♦-ol-2, ▲-ol-3, Δ-aldehid, ●-keton, ○-qarışıq turşu, ■-konversiya, (C_6H_{14}:hava=1:3.38 mol nisbəti, t=6 saat) [6].

Temperatur və zamanın oksidləşmə reaksiyasının

effektivliyinə təsirini daha aydın görmək üçün Şəkil 2-də tikilmiş 2 və 5% tərkibli MnP4VP/MBAA katalizatorları üzərində n-heksanın konversiyasının (ξ) temperatur (a) və zamandan (b) asılılığı müqayisəli şəkildə verilmişdir.



Şəkil 2. n-Heksanın konversiyasının (ξ) Mn (2 və 5%) P4VP/MBAA katalizatorunun iştirakında temperatur (a) və zamandan (b) asılılığı [6].

Şəkil 2 a-dan göründüyü kimi, n-heksanın konversiyası metalın (Mn) müxtəlif faizində (2 və 5%) temperatur (T) və zaman (t) artdıqca artır, müvafiq olaraq, 2%Mn kompleksində ξ ≈40 və 5%Mn tərkibli kompleksdə isə ξ ≈70 mol% təşkil edir. Məqsədli məhsula görə selektivlik 6 saatdan sonra azalır. Bu aktiv mərkəzlərin tutulması ilə əlaqəli ola bilər.

2, 5 və 10% Mn tərkibli MBAA ilə tikilmiş və tikilməmiş P4VP katalizatorların katalitik xassələri n-heptanın oksidləşməsi reaksiyalarında öyrənilmiş və nəticələr Cədvəl 2-də verilmişdir. Alınmış reaksiya məhsullarının xromatoqrafik analizinin nəticəsi göstərir ki, oksidləşmə zamanı heptanol-1,2,3,4; heptanal, heptanon məhsulları əmələ gəlmişdir [4, 7, 8, 12, 13, 16].

Məlumatların təhlili göstərir ki, tikilməmiş katalizator (Mn P4VP (Mn -2-10 küt.%)) üzərində eyni reaksiya şəraitində aparılmış tədqiqat zamanı katalizatorun aktivliyi aşağı olmuşdur. Belə ki, məqsədli məhsul olan heptan-1-ol, heptanal, heptanon müşahidə olunmur və digər məhsulların (heptan-2-ol, heptan-3-ol, heptan-4-ol) çıxımı eyni faiz metal saxlayan MBAA tərkibli katalizatora nəzərən

aşağı olmuşdur. Konversiya isə Mn (2%) P4VP, Mn (10%) P4VP katalizatorları üzərində $\xi \approx 10.3\%$, $\xi \approx 7.6\%$ olduğu halda (cədvəl 2, təc. 1 və 3), eyni faiz MBAA tərkibli katalizatorda məqsədli məhsullara görə bu göstəricilər artaraq, $\xi \approx 23.2$, $\xi \approx 19.8\%$ təşkil etmişdir (təc. 2 və 4). Cədvəldən göründüyü kimi heptanol-1-ə görə ən yaxşı selektivlik tikilmiş katalizatorda müşahidə olunmuşdur, lakin heptanol-2 və heptanol-3-ə görə nisbətən yüksək selektivlik tikilməmiş katalizatorlarda görünmüşdür, 2%MnP4VP üzrə $S_{C7ol\text{-}2} \approx$ 40.8%, 10%MnP4VP üzrə isə ≈35.5%; ən yüksək selektivlik heptanol-3-ə görə 10%MnP4VP tərkibli katalizatorda müşahidə olunmuşdur, ~57.9%.

Cədvəl 2

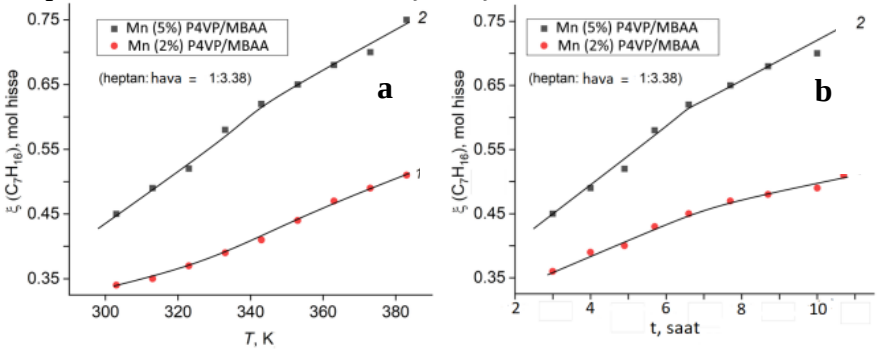
***T* = 313 K, n-C_7H_{16}:hava =1:3.38 molyar nisbətdə və** t **= 6 saat müddətində n-heptanın oksidləşmə reaksiyasının nəticəsi:**
Təcrübələrin şərti: n-C_7H_{16}:hava =1:3.38, m_{kat}=0,3qr, həlledici CH_3CN, T = 313 K, P=1atm, t = 6 saat

	Katalizator	n-heptanın konversiyası, ξ, küt.%	Reaksiya məhsullarının çıxımı, A, küt.%							**$S_{C7ol\text{-}3}$, %**	**$S_{C7ol\text{-}2}$, %**	**$S_{C7ol\text{-}1}$, %**
			C_7H_{16}-1-ol	C_7H_{16}-2-ol	C_7H_{16}-3-ol	C_7H_{16}-4-ol	heptanal	heptanon				
								4,3	2			
1.	Mn (2%) P4VP*	10,3	-	4,2	5,8	0,3	-	-	-	56,3	40.8	-
2.	Mn(2%)P4VP /MBAA**	23,2	1,4	7,3	8,6	3,4	-	0,9	1,6	37,07	31.5	6.03
3.	Mn (10%) P4VP*	7,6	-	2,7	4,4	0,5		-	-	57,9	35.5	-
4.	Mn(10%)P4VP /MBAA**	19.8	1.2	5,9	7,5	2,2	1.6	0,5	0.9	37,9	29.8	6.06
5	Mn(5%)P4VP /MBAA**	36,1	2,6	6,5	7,6	5,8	5,5	3,7	4,4	21	18	7,2

Şəkil 3-də atmosfer təzyiqində və 300-380 K temperatur intervalında, 6 saat zaman aralığında 2 və 5% MnP4VP/MBAA katalizatorları üzərində n-heptanın konversiyasının (ξ)

temperaturdan (a), zamandan (b) asılılığı müqayisəli şəkildə verilmişdir.

Şəkil 3 a-dan göründüyü kimi, n-heptanın konversiyası metalın (Mn) hər iki faizində temperatur (T) artdıqca artaraq 380K temperaturda maksimum həddə çatmışdır.



Şəkil 3. n-Heptanın konversiyasının (ξ) temperaturdan (a), zamandan (b) asılılığı [16].

Şəkil 3 b – dən prosesin müddətini 120 dəqiqədən 360 dəqiqəyə qədər artırdıqda n-heptanın konversiyası 40%-dən 75%-ə qədər yüksəlir, bu da əsasən substratın göstərilən zaman intervalında miqdarı iki dəfə artan aldehid və ketona çevrilməsi hesabına baş verir.

Proses zamanı reaktorun bütün həcmində temperatur sabit saxlanılırdı. Reaktorda elə bir şərait yaradılmışdır ki, ayrılan və ya udulan istilik miqdarı az idi və temperatur qradiyenti yox idi.

Cədvəl 2-yə əsasən sintez olunmuş metal-polimer katalizatorlarda metalın hər üç faizinin oksidləşmə prosesində göstərdiyi aktivliyi müqayisə etsək görə bilərik ki, 5%Mn- küt.% metal saxlayan katalizator daha effektiv nəticə göstərmişdir. Belə ki, 313 K temperaturda məqsədli məhsulların çıxımı yüksəlmiş və konversiya digər faizlərə nəzərən artıq olmuşdur. Belə ki, 2%MnP4VP/MBAA iştirakında $\xi \approx 23.2\%$, 10% MnP4VP/MBAA $\xi \approx 19.8\%$, 5% MnP4VP/MBAA uyğun olaraq $\xi \approx 36.1\%$ təşkil etmişdir.

Cədvəl 3 isə 2 və 10% Mn tərkibli MBAA ilə tikilmiş və tikilməmiş metal-polimer katalizatorları iştirakında n-oktanın oksidləşməsi reaksiyalarının nəticələrini göstərir [1, 11]. Göründüyü

kimi 10%MnP4VP katalizatoru oktanol-3-ə görə ən yaxşı selektivlik göstərmişdir, S_{C8Ol-3} ≈60,2%. Digər iki substratda olduğu kimi MBAA tərkibli katalizatorun iştirakında n-oktanın konversiyası artmış və məqsədli məhsullara görə konversiya yüksək olmuşdur, ξ ≈ 23,1 və 22,4%. Belə ki, 2 və 10% Mn saxlayan tikilməmiş katalizatorun iştirakında oktanol-1, oktanal, oktanon məhsulları alınmır və konversiya cəmi ξ ≈ 9,8 və 7,8% təşkil edir, təc., 1, 3.

Tədqiq olunan katalizatorun iştirakında oksofunksionallaşmış n-oktan konversiyasının temperatur T və zamandan t asılılığı müəyyən edilmiş və Şəkil 4-də təsvir edilmişdir.

Cədvəl 3

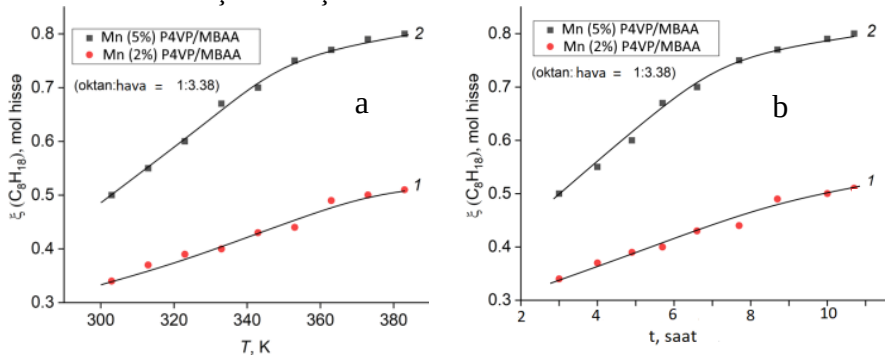
***T* = 313 K, n-C_8H_{18}:hava =1:3.38 molyar nisbətdə və** t **= 6 saat müddətində n-oktanın oksidləşmə reaksiyasının nəticəsi: Təcrübələrin şərti: n-C_8H_{18}:hava =1:3.38, m_{kat}=0,3qr, həlledici CH_3CN, T = 313 K, P=1atm, t = 6 saat**

№	Katalizator küt.%	Oktanın Konversiyası, ξ , küt%	Reaksiya məhsullarının çıxımı, A, küt.%							S_{C8Ol-4}, %	S_{C8Ol-3}, %	S_{C8Ol-2}, %	S_{C8Ol-1}, %
			C_8H_{18}-1-ol	C_8H_{18}-2-ol	C_8H_{18}-3-ol	C_8H_{18}-4--ol	oktanal	oktanon					
								4,3	2				
1.	Mn (2%) P4VP*	9.8	-	3.5	5.6	0.7	-	-	-	7.14	57.14	35.7	-
2.	Mn(2%)P4VP/ MBAA**	23.1	1.2	6,1	6.5	7.4	-	0.5	1.4	32.03	28.13	26.4	5.2
3.	Mn (10%) P4VP*	7.8	-	2.6	4.7	0.5	-	-	-	6.41	60.2	33.3	-
4.	Mn(10%) P4VP/MBAA**	22.4	1.2	4.4	5.2	6.1	2.8	1.6	1.1	27.23	23.2	19.6	5.35

Şəkil 4 a-dan göründüyü kimi, n-oktanın konversiyası metalın (Mn) hər iki faizində (2% və 5%) temperatur (T) artdıqca artır və 380 K-də maksimum həddə çatır. Konversiyanın zamandan (t, saat) asılılığı qrafikində (şəkil 4 b)-də isə təqdim olunan nəticələr göstərir ki, prosesin müddətini 120 dəqiqədən 360 dəqiqəyə qədər artırdıqda n-oktanın konversiyası 30%-dən 50%-ə qədər yüksəlir.

Əgər verilmiş nəticələri daha ətraflı nəzərdən keçirsək, görərik ki,

313 K temperaturda məqsədli məhsullara (spirtlər, aldehidlər, ketonlar) görə çıxım və selektivliyin artması müşahidə olunur, lakin temperatur artdıqca spirtlərə görə çıxım və selektivlik nəzərə çarpan dərəcədə azalmağa başlayır. Məsələn, 313 K-də 2%MnP4VP nümunəsində spirtlərin (ol-2, ol-3, ol-4) birgə çıxımı 8.8% selektivliklə olduğu halda, 353 K-də 2.1% təşkil etmişdir.



Şəkil 4. n-Oktanın konversiyasının (ξ) temperaturdan (a), zamandan (b) asılılığı.

Beləliklə, hər üç substrat üzərində alınmış nəticələri ümumiləşdirsək görərik ki, məqsədli məhsulların çıxımı və n-alkanın spirtlərə görə konversiyası aşağı temperaturlarda (313-333 K) daha yüksək olmuşdur, lakin digər məhsulların (aldehid, keton) çıxımı temperatur artdıqca artır və 383 K temperaturda maksimal çıxım müşahidə edilir. Həmçinin hər üç substratda yüksək temperaturlarda (>353 K) az miqdarda turşu (sirkə, propion və. s) qarışığı alınır, məqsədli məhsulun çıxımında isə azalma müşahidə edilir.

Tədqiqatlar göstərir ki, katalizatorun aktivliyi və selektivliyi polimer əsaslı kompozitin tərkibindəki manqanın miqdarından və reaksiyanın aparılma şəraitindən asılıdır. Belə ki, götürülmüş üç nümunə arasında tərkibində 5% Mn (kütlə payı ilə) tərkibli katalizator digərləri ilə müqayisədə daha yüksək selektivlik göstərmişdir [6, 8, 11, 16]. Oktanda digər iki substratdan fərqli olaraq C-H rabitəsinin dissosiasiyası üçün tələb olunan enerji az olduğundan oksigenli birləşmələrin miqdarı digərlərindən çox alınmışdır və oktanol-2 məhsuluna görə yüksək selektivlik müşahidə olunmuşdur.

Ni əsaslı metal-polimer kompleksin katalitik xassələrinin

müqayisəli tədqiqi.

Tədqiqatın növbəti mərhələsində P4VP-ə immobilizə olunmauş nikel birləşmələrinin katalitik xassələri n-heksanın oksidləşməsi prosesində tədqiq edilmişdir [17].

Sintez edilmiş P4VP-nikel tərkibli katalizator iştirakında n-heksanın oksidləşmə prosesi eyni şəraitdə, 313-383 K temperaturda, atm təzyiqində, nC_6:hava=1:3.38 mol nisbətində öyrənilmişdir (cədvəl 4).

Cədvəl 4

Poli-4-vinilpiridinə immobilizə olunmuş nikel katalizatorlarının iştirakı ilə n-heksanın oksidləşməsi:

Təcrübələrin şərti: C_6H_{14}:hava =1:3.38, m_{kat}=0,3qr, həlledici CH_3CN, *T* = 313 K, P=1atm, t = 6 saat

№	Kataliz ator, küt. % Ni	ξ, % n-C_6H_{14}-ün konversiyası	Reaksiya məhsullarının çıxımı A, küt.%					Selektivlik		
			C_6H_{14}-1-ol	C_6H_{14}-2-ol	C_6H_{14}-3-ol	heksanal	heksanon	S_{c6ol}-1	S_{c6ol}-2	S_{c6ol}-3
1	Ni2%-P4VP /MBAA	37.3	-	24.6	0.7	9.9	2.1	-	66	1,9
2	Ni5%-P4VP /MBAA	47	0.9	8.8	1.2	19.6	16.5	1,9	18,7	2,55
3	Ni10%-P4VP /MBAA	30.3	-	5.7	-	14.4	10.2	-	18,8	-

Cədvəldən göründüyü kimi, n-heksanın oksidləşməsi zamanı reaksiyanın sürətinin öyrənilməsi müxtəlif amillərdən asılıdır. Reaksiyanın sürətinə ilkin maddələrin qatılığı, katalizatorun tərkibi və qatılığı, reaksiyanın aparıldığı temperatur təsir göstərir. Aparılmış təcrübi proseslərdən aydın olmuşdur ki, 5%Ni saxlayan kompleks hər üç spirtə görə selektivlik göstərmişdir, bunlardan C_6H_{14}-2-ol-un

faizi digərlərindən artıq olmuşdur, $S_{c6ol-2} \approx 18,7\%$. Bununla belə 2%Ni tərkibli katalizatorun iştirakında C_6H_{14}-2-ol-a oksifunksionallaşma və selektivlik daha çox olmuşdur, $S_{c6ol-2} \approx 66\%$.

Eksperimetin nəticəsi göstərir ki, tədqiq olunan Ni əsaslı katalizator n-heksanın oksidləşməsi reaksiyasında Mn saxlayan katalizatora nisbətən spirtlərə görə aşağı çıxım, aldehid və ketona görə yüksək çıxım göstərmişdir.

Ümumilikdə, proses zamanı müəyyən edilmişdir ki, P4VP makroliqandına immobilizə olunmuş keçid metalların kompleksləri əsasında alınmış katalizatorlar n-alkanların mülayim şəraitdə oksidləşməsi reaksiyalarında, C-H rabitəsinin aktivləşməsində və məqsədli məhsulların alınmasında yüksək effektivlik göstərirlər.

Reaksıyanın mümkün getmə mexanizmi.

Yuxarıda tədqiq olunan proseslərdən aydın olur ki, P4VP və keçid metal Mn əsaslı katalizatorun aşağı polyarlığa malik və demək olar ki, inert vəziyyətdə olan C-H rabitəsini aktivləşdirmək və reaksiyanı istiqamətləndirmək üçün polimerin halqasındakı N heteroatomunuın koordinasiya qabiliyyəti vacib rol oynayır.

Kinetik tədqiqatların, spektral məlumatların (FTIR, UV, EPR), reaksiya məhsullarının analizinin və katalizatorun stabilliyinin tədqiqi nəticələrinin məcmusuna əsasən, immobilizə olunmuş metal-polimer katalizatorların iştirakı ilə n-alkanların selektiv katalitik oksidləşməsinin koordinasion – nəzarətli radikal mexanizmi təklif edilmişdir.

I. Koordinasion-aktiv mərkəzin formalaşması
   $P4VP+Mn^{2+} \rightarrow P4VP\text{-}Mn^{2+}$
II. Oksigenin aktivləşməsi
   $P4VP\text{-}Mn^{II}+O_2 \rightleftarrows [P4VP–Mn^{III}\text{-}O_2^{*-}]$
III. Reaksiya qabiliyyətli oksigen növünün formalaşması

Oksigenin aktivləşməsi prosesində Mn(IV)–O^* növünün mümkün iştirakı aralıq mərhələ kimi nəzərdən keçirilir, lakin formanın konkret quruluşu eksperimental olaraq müəyyən edilməmişdir.

IV. Alkanın oksidləşməsi
   $P4VP\text{-}Mn^{IV}\text{-}O^{*}+RH \rightarrow P4VP–Mn^{III}–OH+R^{\bullet}$
V. Peroksil radikalın əmələ gəlməsi
   $R^{\bullet}+O_2 \rightarrow ROO^{\bullet}$

VI. Hidroperoksidin əmələ gəlməsi

$ROO^{\bullet}+RH \rightarrow ROOH+R^{\bullet}$

VII. Məhsulların əmələ gəlməsi

$ROOH \rightarrow ROH \rightarrow RCHO/RCOR \rightarrow RCOOH$

VIII. Regenerasiya

$Mn(II) \rightleftarrows Mn(III) \rightleftarrows Mn(IV)^{*}$

Bu mexanizm ədəbiyyatda mövcud olan sxemlərin sadəcə təkrarı deyil. O aşağıdakı xüsusiyyətləri ilə fərqlənir:

1. Mexanizm Mn-nın oksigenlə reaksiyası ilə deyil, immobilizə olunmuş P4VP–Mn koordinasiya mərkəzinin əmələ gəlməsi ilə başlayır.

2. Polimer daşıyıcının rolu yalnız daşıyıcı funksiyası ilə məhdudlaşmır, o bütün katalitik dövr ərzində saxlanılır və aktiv mərkəzin fəaliyyətində iştirak edir.

3. Mexanizm koordinasiya yolu ilə aktivləşməni və radikal aralıq mərhələləri özündə birləşdirir. Bu zaman radikallar aktiv mərkəzin yaxınlığında əmələ gələn qısamüddətli aralıq məhsullar (intermediatlar) kimi nəzərdən keçirilir.

4. Mexanizmin ayrı-ayrı mərhələləri, məhz bizim eksperimental nəticələrə əsasən təsdiq edilmişdir (Mn(III)-ün mövcudluğu — EPR, ROOH qrupları — İQ spektroskopiyası, kinetik tədqiqatlar və reaksiya məhsullarının analizi).

Dördüncü fəsildə sintez edilmiş metal-polimer katalizatoru iştirakında n-C_6-C_8 alkanların məqsədli məhsullara (spirtlər, aldehidlər, ketonlar) oksidləşmə reaksiyalarının formal kinetika qanunları çərçivəsində tədqiqinin nəticələri verilmişdir [6, 8, 11, 13, 15 - 18].

Alkanların katalitik oksidləşmə reaksiyasının təcrübi və nəzəri cəhətdən öyrənilməsi bizə bu reaksiyaların kinetik qanunauyğunluqlarını təsvir etməyə imkan vermişdir. Əvvəlcə bu oksidləşmə reaksiyaları üçün təcrübi olaraq müəyyən edilmiş aralıq komplekslərin qarşılıqlı təsirinin xüsusi reaksiyaları üçün son kimyəvi tənliklər seçilmişdir.

Təklif olunan kimyəvi çevrilmə sxemlərinə əsasən [6, 8, 11, 16], təcrübi məlumatların riyazi işlənməsindən istifadə etməklə n -alkanların (n-heksanın, n-heptanın, n-oktanın) iştirakı ilə xüsusi reaksiyaların kinetik modelləri qurulmuşdur.

Oksidləşmə reaksiyalarının tədqiqinin bu mərhələsində MnP4VP

və MnP4VP/MBAA katalizatorları ilə n-alkanların ümumi reaksiyasının kinetik modelinin qurulması çətindir. Çünki bu ümumi reaksiyanın riyazi təsvirinə uyğun gələn diferensial tənlik sistemlərini qurmaq və həll etmək üçün riyazi aparat yoxdur. Bu işdə mürəkkəb oksidləşmə reaksiyasının mexanizmindən ayrı-ayrı mərhələlər müəyyən edilmiş və onlar müstəqil olaraq öyrənilmişdir. Bu, riyazi analiz problemini ayrıca, daha sadə komponentlərə bölməyə imkan vermişdir. Bu da reaksiyanın riyazi təsvirindəki tənliklərin sayını azaltmağa imkan verir. Göstərilən halda kimyəvi kinetikanın tərs məsələsini adekvat şəkildə həll etmək olur. Bu yolla hesablanmış kinetik kəmiyyətlər n-alkanların katalitik oksidləşməsinin ümumiləşdirilmiş mexanizminin kinetik modelini qurmaq üçün istifadə edilə bilər.

Laboratoriya tədqiqatlarının məlumatlarına əsasən, biz əvvəlcədən reaksiyaların ayrı-ayrı ara mərhələlərin sürət sabitlərini və aktivləşmə enerjilərini qiymətləndiririk. Bu, xüsusi oksidləşmə reaksiyalarının kinetik modellərini tədqiq etdirməyə imkan verir.

Beləliklə, MnP4VP və MnP4VP/MBAA iştirakında kompleks katalizin oksidləşmə reaksiyasının kinetik modellərinin qurulmasının nəzərdən keçirilən mərhələlərinə əsaslanaraq, aşağıdakı nəticələrə gəlmək olar:

1. Mürəkkəb katalitik oksidləşmə reaksiyanın kinetik modelinin işlənib hazırlanması üçün böyük həcmdə təcrübi məlumat, kinetik ölçmələr və hesablama məlumatları tələb olunur.

2. Belə reaksiyaların kinetik modellərinin işlənib hazırlanmasında qeyri-xətti diferensial tənliklər sistemlərinin həlli üçün alqoritmləri artırmaq lazımdır. Kinetik parametrlərin tapılması üçün konkret birbaşa və/və ya tərs kinetik məsələləri həll etmək lazımdır.

3. Kinetik parametrləri təyin edərkən düz və ya tərs kinetik məsələlərin həlli effektiv hesablama modellərinin seçilməsini tələb edir.

4. Kimyəvi kinetikanın birbaşa məsələlərinin ədədi həlli üçün effektiv üsulların seçimi katalitik oksidləşmə reaksiyalarının riyazi təsvirinin sərtliyi ilə çətinləşir.

5. Tərs məsələlərin həlli üsulu kinetik parametrlərin təyin edilməsi vaxtını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır ki, bu da mürəkkəb çoxmərhələli oksidləşmə reaksiyasının kinetik modelinin etibarlılıq səviyyəsini artırır. Oxşar və ya əvvəlki tədqiqatlarda hesablanmış parametrlər toplusundan

istifadə, tərs məsələnin həllinin qeyri-müəyyənliyini azaldır. Beləliklə, n-alkanların katalitik oksidləşməsinin modelləşdirmə üsulları ilə öyrənilməsində yuxarıdakı xüsusiyyətlər nəzərə alınmışdır. Bunun üçün, tədqiq olunan oxşar sistemlərin funksionallığı və mövcud hesablama resursları təhlil edilmişdir. Tərs kinetik məsələlərin həlli üçün səmərəli ədədi üsulların seçilməsi meyarları müəyyən edilmişdir.

n-C_6-C_8 alkanların oksidləşmə prosesinin kinetik parametrləri temperaturdan, vaxtdan asılı olan başlanğıc reaksiya sürətlərində müşahidə olunmuş dəyişikliklər əsasında müəyyən edilmişdir.

Proses başlamazdan əvvəl reaktora 0.3qr həcmində katalizator yüklənmişdir. Reaksiya atmosfer təzyiqində, n-alkan/hava oksigeni = 1:3.38 şəraitində aparılmışdır. Kinetik model təcrübi nəticələr əsasında aşağıdakı kimi seçilmişdir.

Reaksiyaların kinetik tənliklərinə əsasən [6, 8, 11, 16-18], başlanğıc maddələrin çevrilmə dərəcələri nəzərə alınaraq kinetik sabit müəyyən edilmişdir:

$$\xi\ (\tau) = \frac{A_0 - A(\tau)}{A_0}, \xi\ \epsilon\ [0,1] \qquad (1)$$

A_0-substratın ilkin qatılığı, A(τ) - τ-nin istənilən qiymətlərində (zaman) müvafiq substratın molyar qatılığıdır. Başlanğıc maddələrin ilkin qatılıqları eyni qəbul edilərsə, $A_0 = B_0$, o zaman bütün zamanlarda $t\ \mathrm{A}(\tau) = B(\tau)$.

Buradan kinetik sabit müəyyən edilmişdir:

$$k = \frac{\xi}{1-\xi}\frac{1}{A_0 \cdot \tau}\,. \qquad (2)$$

Təcrübi tədqiqatlar [5] [6] [7] göstərir ki, n-alkanın Mn tərkibli katalizator iştirakında termokimyəvi oksidləşməsi birinci tərtib reaksiya hesab edilə bilər. Qapalı sistemdə belə reaksiyaların sürəti

[5] Walker, R.W., and Morley, C. Comprehensive Chemical Kinetics: low-temperature combustion and autoignition. 35. Pilling, M.J., editor. Elsevier; Amsterdam: 1997.

[6] Battin-Leclerc, F. Detailed chemical kinetic models for the low-temperature combustion of hydrocarbons with application to gasoline and diesel fuel surrogates. 2008. Vol. 34. No. 4. P. 440-498. https://doi.org/10.1016/j. pecs. 2007. 10.002.

[7] Zador, J., Taatjes, C.A., and Fernandes, R.X. Kinetics of elementary reactions in low-temperature autoignition chemistry. Progress in Energy and Combustion Science. 2011. Vol. 37. No. 4. P. 371-421.

temperatur və n-alkanın qatılığı ilə müəyyən edilmiş və sonra belə reaksiyalar üçün reaksiya sürəti aşağıdakı kimi ifadə edilmişdir:

$$-\frac{d[n-\text{alkan}]}{d\tau} = k[n-\text{alkan}] \quad (3)$$

burada k-müvafiq temperaturda mütləq reaksiya sürətinin sabitidir.

Arrenius tənliyini bu formada yazmaqla, E_a hesablanmışdır.

$$\ln k = -\frac{E_\text{a}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T}\right) + \ln A \quad (4)$$

(4) tənliyindəki parametrlərin *sabit* olduğunu nəzərə alaraq, *lnk*-nın *1/T*-dən asılılığını quraraq, müvafiq katalizatorların iştirakında n-heksanın oksidləşmə prosesi üçün aktivləşmə enerjisinin 50 *kC/mol* olduğu müəyyənləşmişdir.

Cədvəl 5

MnP4VP katalizatoru iştirakı ilə atmosfer təzyiqində n-heksanın oksigeni ilə spirtlərə oksidləşməsi (n-heksan:hava = 1:3.38) reaksiyasının ümumi sürət sabitləri [6].

T, K	Q, mol/saat	τ, dəq	A_0, mol/m^3	ξ	$k_\text{e} \times 10^5$, m^3/ mol·dəq
303	0.0560	340	35	0.25	2.80
313	0.0245	350	35	0.27	3.02
323	0.0243	355	34	0.28	3.22
333	0.0337	360	35	0.30	3.40
343	0.0228	370	34	0.31	3.57
353	0.0221	390	35	0.33	3.61
363	0.0212	400	34	0.35	3.96
373	0.0200	410	34	0.38	4.39
383	0.0180	415	34	0.40	4.72

Q - reaktorun girəcəyində həcmi axın sürəti, τ- qarışığın reaktorda qalma müddəti

Cədvəl 6.

MnP4VP/MBAA katalizatoru iştirakında n-heksanın havanın iştirakında spirtlərə (heksan-1-ol, heksan-2-ol, heksan-3-ol) oksidləşmə reaksiyasının ümumi (effektiv) sürət konstantaları [6].

T,K	Q, mol/saat	τ, dəq	A_0, mol/m^3	ξ	$k_\text{e} \times 10^5$, m^3/ mol·dəq
303	0.018	340	35	0.43	6.34
313	0.017	350	35	0.45	6.68
323	0.015	355	35	0.48	7.43
333	0.014	360	36	0.50	7.72

343	0.012	370	35	0.54	9.06
353	0.010	390	35	0.57	9.71
363	0.018	400	34	0.60	11.03
373	0.017	410	34	0.63	12.21
383	0.018	415	34	0.66	13.76

Tədqiq olunan kimyəvi proseslərdə [6, 8, 11, 13, 15-18] reaksiyanın ilkin sürəti temperaturun artması ilə artdığı müəyyənləşmişdir.

n-Alkanların katalitik oksidləşməsi zamanı aralıq məhsulların əmələ gəlməsinin başlanğıc sürətinə oksigen sərfinin ($Qv(O_2)$ = 50–300 mL $dəq^{-1}$) təsiri öyrənilmiş və müəyyən edilmişdir ki, ilkin reaksiyanın sürəti artan oksigen istehlakı ilə artır. Bunun səbəbi, katalizator səthinin oksigen molekulları ilə örtülmə dərəcəsi artır və nəticədə oksigen və n-alkanlar arasında elementar aktların sayı uyğun olaraq artır.

n-Alkanların oksidləşmə sürəti n-alkanların ilkin qatılığının ($C(C_nH_{2n+2})$ = 1.28–3.84 mol L^{-1}) artması ilə davamlı olaraq azalır. Bu, oksigenlə müqayisədə katalizatorun səthində n-alkanların daha güclü adsorbsiyasını göstərir.

n-Heptanın oksidləşməsi reaksiyasının kinetik qanunauyğunluqlarının tədqiqi reaksiyanın ardıcıl iki monomolekulyar mərhələ kimi: $S \xrightarrow{k_1} X \xrightarrow{k_2} P$ qəbulu çərçivəsində aparılmışdır. Burada S ilkin substratdır, P sonuncu məhsul, k_1 və k_2 reaksiyanın sürət sabitləridir.

İlkin maddənin və məhsulların c_S, c_X, c_P qatılıqlarının zamandan asılılıqları təyin edilmişdir. İlkin S maddəsinin qatılığı c_S zamanla monoton azalır. Aralıq məhsul X-in qatılığı artır, maksimuma çatır və sonra azalır, son məhsulun P qatılığı zamanla monoton şəkildə artır.

Yuxarıda göstərilmiş çevrilmə üçün biz müəyyən edə bilərik ki, c = c_S, x = c_X, p = c_P, ilkin hal: c = c_0, x = p = 0. Bunu nəzərə alaraq, xüsusi hallar üçün aşağıdakı əlaqələri yaza bilərik:

$$c = c_0 e^{-k_1 t}$$

$$x = \frac{k_1}{k_2 - k_1} c_0 (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) \qquad (5)$$

(5) tənliyinin təhlili göstərir ki, mürəkkəb ardıcıl reaksiyaların çevrilmə sürəti ən yavaş mərhələ ilə müəyyən edilir. Tənlik (5) n-heptanın çevrilmələrinin kinetikası üçün riyazi model kimi istifadə edilə bilər.

n-Heptanın oksidləşməsi reaksiyası üçün aktivləşmə enerjisinin E_a qiyməti, n-heptan:hava qarışıqları (ilkin reagentlərin molyar qatılığının nisbəti 1:3.38) ilə 383 K-də $\xi = 0.75$ çevrilmə ilə 7 saatdan az müddətdə aparılan reaksiya zamanı E_a = 47 kC/mol olduğu müəyyən edilmişdir [8, 13, 16].

Cədvəl 7

Manqan tərkibli polimer katalizatorun iştirakı ilə atmosfer təzyiqində n-heptanın havanın oksigeni ilə spirtlərə oksidləşməsi (n-heptan:hava = 1:3.38) reaksiyasının ümumi sürət sabitləri [8].

T, K	Q, mol/saat	τ, dəq	A_0, mol/ m^3	$\xi, \%(C_7H_{16})$	$k\times 10^5$, m^3/mol·dəq
303	0.0341	360	38	0.45	0.60
313	0.0327	370	34	0.49	0.76
323	0.0315	379	32	0.52	0.89
333	0.0304	387	28	0.58	1.27
343	0.0289	396	26	0.62	1.58
353	0.0277	407	24	0.65	1.90
363	0.0262	417	22	0.68	2.32
373	0.0251	430	20	0.70	2.71
383	0.0243	437	18	0.75	3.81

Q - reaktorun girişində ilkin qarışığın həcmi axın sürəti, τ-qarışığın reaktorda qalma müddətidir.

n-Oktanın oksidləşməsi reaksiyasının kinetik qanunauyğunluqlarının tədqiqinin nəticələri cədvəl 8-də verilmişdir.

Cədvəl 8

Manqan tərkibli polimer katalizatorun iştirakı ilə atmosfer təzyiqində n-oktanın havanın oksigeni ilə spirtlərə oksidləşməsi (n-oktan:hava = 1:3.38) reaksiyasının ümumi sürət sabitləri [11].

T, K	Q, mol/saat	t, dəq	A_0, mol/ m^3	$\xi, \%(C_8H_{18})$	$k\times 10^5$, m^3/mol·dəq
303	0.0308	360	30	0.50	9.26
313	0.0297	370	27	0.55	1.22

323	0.0287	379	25	0.60	1.60
333	0.0275	387	19	0.67	2.81
343	0.0264	396	17	0.70	3.52
353	0.0255	407	15	0.75	4.88
363	0.0244	417	13	0.77	6.13
373	0.0232	430	12	0.79	7.29
383	0.0221	437	11	0.80	8.36

n-Oktanın əsas məhsullara görə selektivliyin artırılması üçün optimallaşdırılmış şərait (303-383 K, atmosfer təzyiqi, 6 saat ərzində) əldə edilmişdir. Tədqiq olunan katalizatorlar 6 saat reaksiya müddətində istifadə edilmişdir.

Kinetik modeli nəzərə alaraq, tərkibində manqan saxlayan polimer katalizatorun tərkibinin, ilkin komponentlərin mol nisbətinin, temperatur və komponentlərin qarşılıqlı təsir müddətinin reaksiyanın sürət sabitinə və konversiyaya təsirini qiymətləndirmək mümkün olmuşdur.

NƏTİCƏLƏR

1. Tərkibində Mn saxlayan poli-4-vinilpiridin əsaslı yeni katalizatorlar sintez edilmiş [3, 5-6, 14] və onların katalitik xassələri n-C_6-C_8 alkanların 303-383 K temperatur intervalında və atmosfer şəraitində maye fazada havanın oksigeni ilə müvafiq spirt, aldehid və ketonlara oksidləşməsi reaksiyalarında tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, katalizatorlar yüksək katalitik aktivlik və selektivlik nümayiş etdirərək, 5–6 ardıcıl tsikl ərzində katalitik xassələrini əsasən qorumaqla təkrar istifadə oluna bilirlər [6-8, 11, 14, 16].
2. Sintez edilmiş manqan polimer əsaslı katalizatorların element və faza tərkibi, elementlərin kompleksdə paylanma mənzərəsi uyğun olaraq SEM/EDS, AAS, RFA metodları ilə tədqiq edilmiş, EPR, Furye İQ spektrləri, TQA/DTA termoqramları çəkilmişdir. Göstərilmişdir ki, sintez olunmuş nümunələr tərkibində MnO_x nanohissəcikləri olan polimer əsaslı birləşmələrdir [1-3, 5-6, 19].
3. n-Alkanların (n-C_6-C_8) havanın oksigeni ilə oksidləşməsi reaksiyalarının polimerə immobilizə olunmuş manqanın

miqdarından (2, 5, 10%) asılılığı tədqiq edilmiş və manqanın optimal miqdarı (5%) müəyyən olunmuşdur: 313 K temperaturda n-C_6H_{14}-nın çevrilməsi ≈ 42,6%, n-C_7H_{16} ≈ 36,1%, n-C_8H_{18} ≈ 34,4% olmuşdur. Manqan tərkibli polimer katalizatorunun iştirakı ilə n-alkanların oksidləşmə reaksiyalarında əsasən spirtlərin alınması müəyyən edilmişdir. 313 K temperaturda 5%MnP4VP/MBAA iştirakında n-alkanların oksidləşməsi zamanı spirlərə görə ən yüksək selektivlik, n-heksana görə $S_{C6Ol\text{-}2}$ ≈ 42,5%, n-heptana görə $S_{C7Ol\text{-}3}$ ≈ 21%, n-oktana görə isə $S_{C8Ol\text{-}4}$ ≈ 22,6% spirtlərində müşahidə edilmişdir [6-8, 11, 16].

4. Göstərilmişdir ki, n-alkanların (n-C_6-C_8) 303-383 K temperatur intervalında və atmosfer şəraitində havanın oksigeni ilə oksidləşməsində ilkin komponentlərin qatılığını, temperatur və komponentlərin kontakt müddətini dəyişdirməklə, reaksiya məhsulunun (spirtlər, aldehidlər, ketonlar) çıxımını tənzimləmək mümkündür. Temperaturun 313 K-dən 383 K-nə qədər artırılması ilə spirtlərin çıxımı azalmış, aldehid və ketonun çıxımı isə artmışdır. 5%MnP4VP/MBAA iştirakında oksidləşmə zamanı 383 K-də aldehid və ketonun çıxımı n-heksana görə ∑A ≈ 48,2%, n-heptana görə ∑A ≈ 13,6%, n-oktana görə ∑A ≈ 14,3% olmuşdur [6-8, 11, 16].
5. Sintez olunmuş katalizatorların iştirakı ilə 303-383 K temperatur intervalında n-alkanların (n-C_6-C_8) müvafiq spirtlərə, aldehidlərə və ketonlara oksidləşməsi reaksiyasının kinetikası öyrənilmiş və aktivləşmə enerjisinin qiymətləri verilmişdir. Tədqiq olunan hər üç alkanın bu reaksiyalar üçün başlanğıc 10-15 dəq ərzində aktivləşmə enerjisi E_a 40-50 kC/mol (9,5-11,9 kkal/mol) intervalında olduğu göstərilmişdir [6, 8, 11, 13, 15, 16, 18].
6. 5%Mn-P4VP-MBAA katalizatorunun iştirakı ilə n-alkanların (n-C_6-C_8) havanın oksigeni ilə məqsədli məhsullara (spirtlər, aldehid, ketonlar) qədər oksidləşməsi reaksiyası üçün kinetik model seçilmiş və sürət sabitləri hesablanmışdır. Göstərilmişdir ki, 5%Mn-P4VP/MBAA və t = 6 saat şəraitində n-heptanın katalitik oksidləşməsi reaksiyası üçün hesablanmış sürət sabitinin qiymətinin 303–383 K temperatur intervalında, atmosfer təzyiqində, k = (0.60–3.81)•10^{-5} m^3/(mol•dəq)

diapazonunda dəyişir. Reaksiyanın alkana, havanın oksigeninə və katalizatora görə birinci tərtib kinetik modelə tabe olduğu müəyyənləşmişdir [6, 8, 11, 15, 16, 18].

7. Kinetik, spektral və katalitik tədqiqatlar əsasında, yaradılmış metallopolimer sistemin xüsusiyyətlərini nəzərə alan və aktiv mərkəzlərin tərkibində koordinasiya olunmuş Mn(II) ⇄ Mn(III) ⇄ Mn(IV) dönər keçidlərini əhatə edən n-alkanların (n-C_6-C_8) katalitik oksidləşməsinin ən ehtimal olunan koordinasion-nəzarətli radikal mexanizmi təklif edilmişdir. Katalitik aktiv mərkəzlərin təbiəti poli-4-vinilpiridin polimer daşıyıcısına bərkidilmiş və izolə olunmuş manqanın koordinasiya düyünləri kimi əsaslandırılmışdır. Göstərilmişdir ki, aktiv mərkəzlərin belə quruluşu onların müstəqil fəaliyyətini, prosesin yüksək selektivliyini və katalizatorun dəfələrlə istifadə zamanı yüksək stabilliyini təmin edir.
8. Mn tərkibli katalizatorların aktivliyi və selektivliyi tərəfimizdən sintez edilmiş Ni tərkibli polimer-metal katalizatorların n-heksanın oksidləşməsində müşahidə olunan aktivlikləri ilə müqayisə edilmişdir. Müəyyən olmuşdur ki, 2, 5, 10% Ni-P4VP / MBAA katalizatorları Mn tərkibli katalizatorla müqayisədə spirtlərə görə aşağı selektivlik göstərir. Məsələn, 5%Ni-P4VP/MBAA iştirakında spirtlərin çıxımı cəmi $\sum A_{\text{spirtlər}} \approx 10{,}9\%$ olmuşdur [17].

DİSSERTASİYA İŞİNİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ AŞAĞIDAKI MƏQALƏ VƏ TEZİSLƏRDƏ DƏRC EDİLMİŞDİR:

1. Isazade, A.F. Synthesis of manganese nanoparticles in the poly-4-vinylpyridine environment and check the catalytic properties in the reaction of n-octane / A.F. Isazade, U.A. Mammadova, N.A. Zeynalov // Scientific Research-2019, IV International Scientific Practical Conference, Czech Republic, Karlovy Vary-Russia, Moscow, -2019, -p.8-10.
2. Isazade, A.F. Catalytic oxidation of n-hexane on metal-polymer catalyst / A.F. Isazade, U.A. Mammadova, N.A. Zeynalov // XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry. Tom 1,

Section 1, Saint Petersburg, 9-13 September, -2019, - p.416.
3. Isazade, A.F. The immobilization and reduction of Mn(II) ions to quaternized poly(4-vinylpyridine): spectroscopic investigation of structure / A.F. Isazade, U.A. Mammadova, N.A. Zeynalov [et al.] // BANM, Ümumimilli lider H.Əliyevin 96-cı il dönümünə həsr olunmuş Tələbələrin I Respublika Elmi Konfransı / Bakı, - 2019, - p. 90-92.
4. Исазаде, А.Ф. Каталитическое окисление н-Гептана на Mn иммобилизованном полимерном катализаторе / А.Ф.Исазаде ,У.А.Мамедова, Н.А.Керимова // BDU, Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-cı ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistrant, gənc tədqiqatların "Kimyanın Aktual Problemləri" XIII Beynəlxalq Elmi Konfransı, Bakı,- 2019, -s.145-146.
5. Tagiev, D. Immobilization of a quarterinized polymer with immobilized transition metal ions / D. Tagiev, U. Mammadova, A. Isazade, N. Zeynalov [et al.] // Digest Journal Nanomaterials Biostructures, -2020. 15, -p.275–280.
6. Tagiev, D.B. Catalytic oxidation of n-hexane on immobilized manganese containing polymer catalyst / D.B. Tagiev, U.A. Mammadova, A.F. Isazade, M.M. Asadov, N.Zeynalov // Journal of Chemical Technology and Metallurgy, -2021. 56, -p.979–987.
7. Isazade, A. Catalytic oxidation of n-heptane on immobilized manganese-containing polymer catalyst / A. Isazade, U. Mammadova, D. Tagiev, N.Zeynalov // New Materials, Compounds and Applications, -2021. 5(3), -p.198-204.
8. Isazade, A.F. Effect of the composition of a manganesecontaining polymer catalyst on the kinetics of the oxidation reaction of n-heptane with molecular oxygen / A.F. Isazade, U.A. Mammadova, M.M. Asadov, N.Zeynalov, D.Tağiev // Azerbaijan Chemical Journal, -2022. 1, -p.41–50.
9. Isazade, A.F. A short overview on oxidation of n-alkanes on various catalysts and C–H bond activation // Processes of Petrochemistry and Oil Refining, -2022. 23(1), -p.99-105.
10. Isazade, A.F. A short review on polyvinylpyridine and manganese based complexes as efficient catalysts in organic synthesis //

Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational, -2022. 13(02), -p.18-24.
11. Isazade, A.F. Oxidation of n-octane in the presence of manganese-polymer catalyst and selection of the appropriate kinetic model / A.F. Isazade, U.A. Mammadova, M.M. Asadov, N.A. Zeynalov D.B. Tagiev // Azerbaijan Chemical Journal, -2022. 3, -p. 6–11.
12. Isazade, A.F. Polymer supported catalyst on the oxidation of n-heptane / A.F. Isazade, U.A. Mammadova, N.A. Zeynalov [et al.] // BANM, Ümummilli lider H.Əliyevin 99-cu ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların III Respublika Elmi Konfransı Bakı, -2022, -s.365-366.
13. Isazade, A. Oxidation of n-heptane in the presence of manganese-polymer catalyst and the kinetics of the oxidation process / A. Isazade, U. Mammadova, M. Asadov [et al.] // 3rd ISPC «Scientific Goals and Purposes in XXI Century», Seattle, USA , -July 19-20, -2022, No. 23(117), -p.301-305.
14. Isazade, A. Novel polymer-metal composites for low-temperature oxidation of n-alkanes / A. Isazade, U. Mammadova, M. Asadov // Bakı və region gənclərinin I elmi konfransı, BDU, -Bakı, - 2023, -p.107-109.
15. Исазаде, А. Моделирование оптимальных режимов композиции процесса окисления н-гептана с экологической каталитической системой / А. Исазаде, Ч. Шабанова, У. Мамедова, М. Асадов // BANM, H.Əliyevin 101-ci il dönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların V beynəlxalq elmi konfransı, Bakı, -2024, -s.81-86.
16. Isazade, A. F. Simulation of the Kinetics of Heterogeneous Oxidation of n-heptane by oxygen / A.F. Isazade, U.A., Mammadova, M.M. Asadov, N. Zeynalov, D. Tağiev // Chemistry for Sustainable Development, -2024. 32, -p.45-51.
17. Isazade, A.F. Oxidation of n-hexane with oxygen in the presence of a solid-phase catalyst Ni-immobilized poly-4-vinylpyridine / A.F. Isazade, U.A. Mammadova, M.M. Asadov, N.Zeynalov, D.B. Tağiev // Azerbaijan Chemical Journal, -2025. 1, -p.57–67.
18. Isazade, A.F. Description of initial reactions in kinetic modeling of low-temperature oxidation of n-alkanes / A.F. Isazade, U.A.

Mammadova, M.M. Asadov, N. Zeynalov, D.Tağiev // Azerbaijan Chemical Journal, -2025. 3, -p.71–80.

19. Isazade, A. Thermogravimetric analysis (TGA) of polymer-anchored manganese catalysts / A. Isazade, U. Mammadova, N. Zeynalov, D.Tağiev // Akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun 90 illik yubileyinə və Akademik Toğrul Şahtaxtinskinin anadan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş RESPUBLİKA KONFRANSI, Bakı, -2025, -p.181-182.



Dissertasiyanın müdafiəsi 04 dekabr 2026-cı il tarixində saat 11^{00}-da Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi "Kimya İnstitutu" PHŞ-nin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.15 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1073, Bakı şəhəri, H.Cavid pr. 113.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi "Kimya İnstitutu" PHŞ-nin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi "Kimya İnstitutu" PHŞ-nin rəsmi internet saytında (www.kqki.az) yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 02 noyabr 2026-cı il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 02.10.2026

Kağızın formatı: A5

Həcm: 39280

Tiraj: 100