

## Қорытпалы алюмо-никелдік катализатор арқылы фурфуролды сутектендіріп тетрагидрофурфурил спиртіні алу

**Аңдатпа.** Бұл жұмыста рентгенографиялық зерттеулердің жиынтығы бойынша сілтілендірілген катализаторлар өз беттерінше негізінен фурфуролды сутектендіруде катализаторлардың белсенділігіне ықпалын елеулі түрде көрсетеді. Қаңқалы никельді катализатор және қорытпалы алюмо-никелдік катализаторы қоспалардың оксидтерінен, сілтіден толықтай айырылмаған интерметаллидтерден тұратын күрделі көп компонентті жүйелер екендігін көрсетеді. Сонымен Ni-Al катализаторларға цирконий, ниобий, молибден, хром, мыс қорытпаларына металдарды енгізу барысында қаңқалы никельді катализаторлардың фазалық құрамына, құрылымы және үлестік сыртына айтарлықтай әсерін береді. Қорытпалы алюмо-никелдік катализаторында әдеттегі Ni-Al (50-50) – NiAl<sub>3</sub>, Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> фазаларынан және эвтектикадан (NiAl<sub>3</sub> +Al) басқа қосындылар жаңа, әлі мағынасы ашылмаған Фх фазаларын құрайды. Қаңқалы никель катализаторларынан басқа катализаторлар Y-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> және Фх қосымша қосындыларынан тұрады. Қорытпалы алюмо-никелдік қосындылар никельдің кристалдық торларының параметрлеріне ықпалын тигізбейді, алайда катализаторлардың кристалдарын (L) едәуір ұсатып, 95,0-128,5 м<sup>2</sup> /г шамасында катализатордың үлестік сыртының ұлғайтылады.

**Түйін сөздер:** фурфурол, тетрагидрофурфурил спирті, алюмо-никелді катализатор, гидрлеу үрдісі.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2022-138-1-24-30>

### Кіріспе

Фурфуролды тетрагидрофурфурилдік спиртке дейін сутектендірудің көпкомпоненттік жүйесі ұсынылып, никельдік Реней катализаторлары өңделіп жұмыстар жасалынды. Катализаторлардың қолданысы ретінде - молибден, мыс, хромның (немесе феррохром) қосындыларымен жаңартылған, сутекпен сілтісіздендірілгеннен кейін алдын-ала құрғатылған қаңқалы никель өршіткілері алынды. Өңделіп сарапталып берілген катализаторлар бізге белгілі болып жүрген катализаторларға қарағанда 10-12% белсенділік танытты, олардың тұрақтылығы 20-25% және одан жоғары жағдайды көрсете білді [1].

Циркониймен, ниобиймен, молибденмен жаңартылған қорытпалы никель-алюминийлік катализаторларда 40-120<sup>0</sup> С мен 4-12 Мпа сутек қысымында фурфуролды тетрагидрофурфурил спиртіне дейінгі сутектендіру үрдісі зерттелінді. Катализаторлардың құрамы өзгертілгендіктен, жаңартылған қосындылар енгізілгендіктен катализаторлардың белсенділігі енгізілетін қосындылар табиғатына байланысты максимуммен өтеді. Белсенділіктері бойынша катализаторлар келесі қатармен келеді: Ni-Al < Ni-Zr-Al < Ni-Nb-Al < Ni-Cu-Al

Молибден мен мысты; молибден, мыс пен хромды; молибден, мыс пен феррохромды 80-160<sup>0</sup> С-де, 2-6 Мпа сутек қысымында, 100-180 сағ<sup>-1</sup> артық сутектің барботажында бір мезетте енгізумен жаңартылған қорытпалы никель-алюминийлі катализаторларда фурфуролды және фурфуролды конденсатты үздіксіз сутектендіру үрдісі зерттелінді. Зерттелінген катализаторлар белсенділігі мен тұрақтылығы бойынша мына қатармен орналасқан: Ni-Mo-Cu-Cr\* -Al > Ni-Mo-Cu-Cr-Al > Ni-Mo-Cu-Al

Атомды-адсорбциялық спектроскопия, рентгено және электронография, жарыққа түсіретін және қоздыратын электронды микроскопия, төмен температуралы адсорбция мен азоттың капиллярлы конденсаты, рентгенофотоэлектрлі спектроскопия, температуралы-бағдарламаланған сутектің десорбциясы тәсілімен шығарылатын және сілтісіздендірілген қорытпалы алюмо-никелдік қорытпалардың химиялық және фазалық құрамдары, сырттағы элементтердің құрамы мен валенттілік қалпы, адсорбциялық қасиеттері анықталынды [2].

### Нәтижелер

Молибденмен, хроммен, мыспен, ниобиймен, циркониймен жаңартылған ерітіп қорытпалы алюмо-никелдік катализаторларының фазалық құрамы мен құрылымын рентгендік құрылымдық және рентгендік спектрлік сараптау тәсілдерінің көмегімен зерттеді. Нәтижелері 1 кестеде көрсетілген. 1 кесте деректерінде шығыс қорытпалар мен катализаторлардың құрамы мен құрылымдарына жаңартылған металдардың сапалық және сандық елеулі әсер көрсететіні көрініп тұр. Қорытпаға әдеттегі Ni-Al (50-50) – NiAl<sub>3</sub>, Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> фазаларынан және эвтетикадан (NiAl<sub>3</sub>+Al) басқа қосындылар жаңа, әлі мағынасы ашылмаған Ф<sub>x</sub> фазаларын құрады. Қаңқалы никель катализаторынан басқа катализаторлар Y-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> және Ф<sub>x</sub> қосымша қосындыларынан тұрады. Қорытпалы алюмо-никелдік қосындылар никельдің кристалдық торларының параметрлеріне ықпалын тигізбейді, алайда катализаторлардың кристалдарын (L) едәуір ұсатып, 95,0-128,5 м<sup>2</sup>/г шамасында катализатордың үлестік сыртының ұлғайтады. Қима тәсілі арқылы 1 кестеде жеке фазалармен орын алған кеңістіктер көлемі анықталды. NiAl<sub>3</sub> және Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> фазаларының көлемі 35-63 және 30-42% шамасында ауытқып отырады, және де олар қорытпалардағы металдар шоғырлануының өсімімен кемиді [3]. Қорытпада қосындылар санының өсімімен эвтетикалық қоспа (Al+NiAl<sub>3</sub>) мен белгісіз Ф<sub>x</sub> құрамы 17-20 және 12-13% дейін айтарлықтай ұлғайды. NiAl<sub>3</sub>/Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> байланыс промотирленген қорытпаларда 1,27-1,38 қосындысыз қорытпаға қарағанда жоғарылау, қосындылары бар металдар шоғырлануының өсімімен кемиді немесе цирконийі бар қорытпаларынан молибдені бар қорытпаларға қарай ұлғаяды. Рентгенографиялық зерттеулердің жиынтығы сілтіден айырылған катализаторлар өзді-өзі негізінен фурфуролды сутектендіруде катализаторлардың белсенділігіне ықпалын елеулі түрде көрсететін қаңқалы никельден және жаңартылған қорытпалы алюмо-никелдік қоспалардың оксидтерінен, сілтіден толықтай айырылмаған интерметаллидтерден тұратын күрделі көп компонентті жүйелер екендігін көрсетеді. Сөйтіп, Ni-Al ға цирконий, ниобий, молибден, хром, мыс қорытпаларына металдарды енгізу қаңқалы никельді катализаторлардың фазалық құрамына, құрылымы және үлестік сыртына айтарлықтай әсерін береді. Ауыспалы металдармен жаңартылған қорытпалы алюмо-никелдік катализаторлардың химиялық сараптамасының қорытындылары барлық жаңартылған металдар сілтіден айырылған катализаторлар құрамына кіретінін көрсетеді. Катализаторлардағы металл қосындыларының шоғырлануы сілтіде олардың еру дәрежесіне және қорытпа шахталарына қарағанда 0,4-1,4% төмен болатынына байланысты. Сілтісіздендірілген катализаторлардың химиялық құрамы табиғатқа және шығын қорытпаларының компоненттеріне айтарлықтай байланысты. Сөйтіп, барлық қорытпалы алюмо-никелдік катализаторы қосындылар тікелей қандай да бір қалыпта сілтіден тазартылған катализаторларға енеді, ол өз алдына олардың адсорбцияланған және каталитикалық қасиетке ықпалын тигізеді. Оптикалық микроскопия құрылғы көмегімен түйіршікті зерттейтін арнайы қондырғыны пайдалана отырып құрам зерттеулерінің нәтижелері алынды, ол жерде жалпы шоғырлануы 75-89% құрайтын зерттеудегі катализаторлардың ұсақ бөлшектермен молайғандығын көрсетеді.

## Алюмо-никельдік қорытпалар мен метал қосылған катализаторлардың сипаттамасы

Қорытпалы катализатор	Қорытпа					Катализатор		
	Фаза ауданы			$\Phi_x$	NiAl <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub> Al <sub>3</sub>	Кристалл араметрі	Кристал өлшемі	Бетінің нақты ауданы
	NiAl <sub>3</sub>	Ni <sub>2</sub> Al <sub>3</sub>	Al+NiAl <sub>3</sub>					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ni-Al 50-50	50	40	10	-	1,24	0,353	5,4	105
Ni-Zr-Al 47,0-3,0-50,0	53	42	8	-	1,30	0,353	5,0	95
45,0-5,0-50,0	51	39	7	3	1,28	0,353	4,7	112
40,0-10,0-50,0	48	37	9	5	1,26	0,353	4,4	105
Ni-Nb-Al 47,0-3,0-50,0	48	36	15	-	1,33	0,353	4,2	120
45,0-5,0-50,0	43	33	17	8	1,30	0,353	4,0	123,5
40,0-10,0-50,0	36	30	21	12	1,28	0,353	3,7	128,5
Ni-Mo-Al 47,0-3,0-50,0	47	35	10	-	1,38	0,353	3,6	100,0
45,0-5,0-50,0	45	33	11	10	1,36	0,353	3,4	111,5
40,0-10,0-50,0	39	30	18	13	1,30	0,353	3,2	119,8
Ni-Mo-Cu-Al 43,0-5,0-2,0-3,0-50,0	46	34	13	6	1,35	0,353	3,1	123,6
Ni-Mo-Cu-Al 40,0-5,0-2,0-3,0-50,0	38	30	19	12	1,27	0,353	2,0	116,4

Катализаторлардағы өте ұсақ бөлшектердің бөлінуі үрдісі электронды микроскопия құрылғысы арқылы тексерілді. Сонымен қатар протирленген алюмо-никельдік катализаторлар бөлшектерінің сыртқы мөлшерлері шамамен алғанда 0,33-0,47 мкм, қосындысы жоқ қаңқалы никельге қарағанда 1,6-4,0 есе жоғары екендігі көрсетілген [3].

Біз метал қосылған қаңқалы никель катализаторларының кеуек құрылымы зерттедік. Аргон сорбциясының изотермдері гистерезистік ілмектердің формалары көптеген жаңартылған никельдік катализаторлар үшін салыстырмалық қысымдардың орта аймақтарындағы адсорбциялық және десорбциялық параллельдік орналасуымен және де топтастыруы бойынша А-типіне жататыны сипатталады, ол цилиндрлік қуыстықтардың басым болғандығы туралы мәлімдейді. Қуыстық таралудың көптігі айқындалмаса да, жақын аймақта екендігін байқауға болады.

## Талқылау

Фурфурол сутектендірілуінің алюмо-никельдік қорытпадағы металл қосындыларының құрамына қарай жылдамдық тәуелділігін көрсетеді. Одан барлық зерттелетін катализаторлардағы фурфурол сутектендірудің жылдамдығы қорытпадағы жаңартылған металдардың 1,0 мас. дейін жылдам өсетіні, содан кейін сутектендірудің жылдамдықтарының баяу өсімі болатыны көрініп тұр. Жаңартылған қорытпалы алюмо-никельдік катализаторлар белсеңділігі 90° С мен 4 МПа-да артады, қорытпалы алюмо-никельдік катализатор салыстырмалы ретінде қосындысыз қорытпадағы қаңқалық никельге қарағанда 2,1-3,0 есе жоғары. Ең көп белсеңділікті Ni-Nb-Al және Ni-Mo-Al катализаторлары көрсетеді. Фурфуролды сутектендіру үшін құрамында мыс, молибден, цирконий, ниобий, хром және келесі құрамы бар никель-алюминий қорытпалары негізіндегі ерітіп қорытылған катализаторлар қолданылды:

1. Ni-Al (50,0-50,0)
2. Ni-Zr-Al (47,0-3,0-50,0)
3. Ni-Zr-Al (45,0-5,0-50,0)
4. Ni-Zr-Al (43,0-7,0-50,0)
5. Ni-Zr-Al (40,0-10,0-50,0)
6. Ni-Nb-Al (49,0-1,0-50,0)
7. Ni-Nb-Al (47,0-3,0-50,0)
8. Ni-Nb-Al (45,0-5,0-50,0)
9. Ni-Nb-Al (40,0-10,0-50,0)
10. Ni-Mo-Al (49,0-1,0-50,0)
11. Ni-Mo-Al (47,0-3,0-50,0)
12. Ni-Mo-Al (45,0-5,0-50,0)
13. Ni-Mo-Al (43,0-7,0-50,0)
14. Ni-Mo-Al (40,0-10,0-50,0)
15. Ni-Ti-Al (47,2-2,8-50,0)
16. Ni-Mo-Cu-Al (44,0-5,0-1,0-50,0)
17. Ni-Mo-Cu-Al (43,0-5,0-2,0-50,0)
18. Ni-Mo-Cu-Al (42,0-5,0-3,0-50,0)

Cr\* - феррохром (құрамында Cr 69,1 %, Fe 28,04%, Si, P, S 0,96% қоспағы бар). Катализаторлар ШП-1 пешінде металдар қорытумен жасалынған. Балқыту графит стакандарында келесідегідей өткізілді: ең алдымен алюминийді балқытып, қорытылуға никельді кіргізеді. Температураның жылдам жоғарылауымен келетін алюмотермикалық үдеріс басталуынан кейін баяу балқытын металдардан бастап, қосындыланған металдарды қосады. Қосындыны кварц таяқшасымен араластырып, шойын құйма қалыпқа құяды. Суығаннан кейін қосындыны үгітіп, фракциялайды. 2 кестеде цирконий, ниобий, молибден, мыс, хром металдары қосылған қаңқалы никельдік катализаторлардың қуыстық құрылымдарының параметрлері көрсетілген. 2 кесте деректері жаңартылған металдар негізінен қорытпалы өршіткінің көбейтетіні білінеді, салыстырмалы түрде алынғанда 100-138 м және 80-90 м<sup>2</sup>/г дейін; салыстырмалы жоғары тиімді радиустық қуыстық көлем, сірә, жаңартылған металдармен катализаторлардың никельдік фаза шашырайтына қарай өтеді [4]. Екі не үш металды бірге енгізуде бәрі ауысады. Абсорбцияның изотермі Е-типіне (2 кесте) ауысып, қуыстық көлем мен олардың радиусы кеміп, цилиндрлік қуыстықтар шөлмек тәрізді болып қалады.

**Металл қосылған қаңқалы алюмо-никельдік катализаторлардың қуыстық құрылым параметрлері**

Қорытпалы катализатор, %	SB <sub>эт</sub> , м <sup>2</sup> /г	С <sub>кум</sub> , м <sup>2</sup> /г	SB <sub>эт</sub> , м <sup>2</sup> /г С <sub>кум</sub> , м <sup>2</sup> /г	V <sub>пор</sub> см <sup>3</sup> /г	Rэфф, A <sup>0</sup>	Изотерма типі
Ni-Al (50,0-50,0)	105	75	28,5	0,102	30	A
Ni-Zr-Al (45,0-5,0-50,0)	100	80	27,3	0,122	30	A
40-10-50	120	90	25,0	0,129	32	A
Ni-Nb-Al (45,0-5,0-50,0)	115	93	19,1	0,135	35	A
40-10-50	120	85	29,2	0,128	33	A
Ni-Mo-Al (45,0-5,0-50,0)	138,4	110	20,5	0,142	38	A
40-10-50	120,8	100	17,2	0,152	42	A
Ni-Mo-Cu-Al (43,0-5,0-2,0-50,0)	115	90	21,7	0,097	22	E
Ni-Mo-Cu-Al (43,0-5,0-2,0-50,0)	132	88	33,3	0,081	20	E

**Қорытынды**

Қорытпалы алюмо-никелдік катализаторлар құрамына қосылған металдар үштік қорытпаларда қаңқалы никель катализаторының термодесорбциялық ирек сипатына айтарлықтай әсер етпейді, бірақ толық көлемін өзгертіп отырады. Термодесорбциялық иректерде сутектің екі формасы айқын көрсетілген, олардың десорбциясы 0-210<sup>0</sup> С және 210-600<sup>0</sup> С аймақтарында жүзеге асады. Бірінші форма біріншінің теңестірілуі бойынша, ал екінші форма – екінші тәртіппен десорбцияланады. Сутегі бойынша ең көп сыйымдылықты қаңқалы Ni-Mo-катализаторлары көрсетеді, десорбцияланған сутегінің жалпы көлемі 600<sup>0</sup> С-ге 51,0-55,0 см<sup>3</sup> /г дейін көрсетеді. Зерттелетін алюмо-никельдік катализаторлардың сорбциялық қабілеттері, сірә, жаңартылған қорытпалы алюмо-никелдік катализаторлар қосындылардың құрамы 5,0% сәйкес максимум арқылы жасалатын болады. Қосындысы болатын металдар бірінші әлсіз адсорбция ұшырайтын форманы көбейтіп, сутегі берік адсорбцияланған формаға қатысты шоғырлануын ерекше кемітетін айта кеткен жөн. Металды 1,1-1,5 есеге қосу адсорбцияланған сутек формасын ұлғайтады. Бұдан басқа, адсорбцияланған сутегінің бірінші және екінші формалары салыстырмалы төмен температурада (бірінші форма – 100-140<sup>0</sup> С, екінші форма – 150-240<sup>0</sup> С) және ең кем көлемінде (бірінші форма 24-30 КДж/моль, екінші форма 50,5-65,0 КДж/моль) десорбцияланады. Сутектің әлсіз адсорбцияланған формалар саны промотирленген катализаторларда десорбцияланған сутегінің жалпы санынан 50-60% жетеді. Сутегінің барлық

формалары қатысына сияқты ең көп сорбциялық қабілеттілік қаңқалы Ni-Mo катализаторлары білдіреді. Молибден мен мысты бірге енгізгенде еш өзгеріс болмайды. Никель-алюминий қатысындағы қорытпаға молибден, мыс, хромды бірге енгізілгеннен алынған бес компоненттік катализатордың термосорбциялық ирегінде 195<sup>0</sup>С-де температурада пен сутектің бір ғана шыңы байқалады. Сутектің жалпы құрамы да 61 см<sup>3</sup>/г дейін өсетіндігі байқалады. Жаңартылған катализаторлар белсенділігі қосындысыз Ni-Al скелетті катализаторына қарағанда 1,5-1,8 есеге жоғары немесе өндірістік Ni-Ti-Al байланысқа қарағанда 1,8-2,0 есеге жоғары нәтижені көрсетті. Ең көп белсенділікті қорытылған Ni-Mo-Al катализаторлары көрсетеді. Зерттелетін катализаторлар белсенділігінің өсуі бойынша қатармен келеді: Ni-Zr-Al < Ni-Nb-Al < Ni-Mo-Al.

### Әдебиеттер тізімі

1. Бейсеков Т.Б., Ержанова М.С. и др. // Хим. пром. – 1980. – № 9. – 525 б.
2. Duisembiyev M.Zh. “Hydrogenation furfurily in furfural alcohol in presence of floatable catalyst” The materials of international conference “The development of science in modern era”. – Kyiv, 2012. – P. 17-20.
3. Дуйсембиев М.Ж. Подбор и разработка катализаторов гидрогенизации фурфурола. Наука и современность-2012: тезисы международной научно-практической конференций. – Новосибирск, 2012. – С. 171-175.
4. Попова Г.Я., Андрушкевич Т.В., Захаров И.И., Чесалов Ю.А. // Кинетика и катализ. – 2015. – Т. 46. – С. 233.

### М.Ж. Дуйсембиев

*Южно-Казахстанский государственный педагогический университет, Шымкент, Казахстан*

### Получение тетрагидрофурфурилового спирта гидрированием фурфурола с использованием катализатора из алюминиево-никелевого сплава

**Аннотация.** В данной работе, основанной на комплексе рентгеноструктурных исследований, алкализованные катализаторы существенно влияют на активность катализаторов гидрирования фурфурола. Показано, что скелетный никелевый катализатор и катализатор из алюминиево-никелевого сплава представляют собой сложные многокомпонентные системы, состоящие из оксидов примесей, интерметаллидов. Таким образом, при введении металлов в Ni-Al катализаторы сплавы циркония, ниобия, молибдена, хрома и меди оказывают существенное влияние на фазовый состав, структуру и аспектное соотношение скелетных никелевых катализаторов. В катализаторе из алюминиево-никелевого сплава добавки, отличные от обычных фаз Ni-Al (50-50) - NiAl<sub>3</sub>, Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> и эвтектик (NiAl<sub>3</sub> + Al), образуют новые, пока неизвестные Fx-фазы. Помимо скелетных никелевых катализаторов, катализаторы состоят из добавок γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> и Fx. Легированные алюминиево-никелевые соединения не влияют на параметры кристаллических решеток никеля, однако значительно дробят кристаллы катализатора (L) и увеличивают удельную площадь катализатора на 95,0-128, 5 м<sup>2</sup>/г.

**Ключевые слова:** фурфурол, тетрагидрофурфуриловый спирт, алюмо-никелевый катализатор, гидрирование.

**M.Zh. Duisembiyev**

*South Kazakhstan State Pedagogical University, Shymkent, Kazakhstan*

### **Production of tetrahydrofurfuryl alcohol by hydrogenation of furfuryl using an aluminum-nickel alloy catalyst**

**Abstract.** Alkalized catalysts significantly affect the activity of furfural hydrogenation catalysts based on a complex of X-ray diffraction studies based on a complex of X-ray diffraction studies. The skeletal nickel catalyst and the aluminum-nickel alloy catalyst are complex multicomponent systems consisting of impurity oxides and intermetallic compounds. Thus, when metals are introduced into Ni-Al catalysts, zirconium, niobium, molybdenum, chromium, and copper alloys have a significant effect on the phase composition, structure, and aspect ratio of skeletal nickel catalysts. In an aluminum-nickel alloy catalyst, additives other than the usual Ni-Al (50-50) - NiAl<sub>3</sub>, Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> and eutectic (NiAl<sub>3</sub> + Al) phases form new, yet unknown Fx-phases. In addition to skeletal nickel catalysts, the catalysts consist of additives Y-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> and Fx. Doped aluminum-nickel compounds do not affect the parameters of the nickel crystal lattices, however, they significantly crush the catalyst crystals (L) and increase the specific area of the catalyst by 95.0-128.5 m<sup>2</sup>/g.

**Keywords:** furfurol, tetrahydrofurfuryl alcohol, aluminum-nickel catalyst, hydrogenization.

### **References**

1. Bejsekov T.B., Erzhanova M.S. i dr. Him. prom. [Khim. prom.], 9, 525 (1980). [in Russian]
2. Duisembiyev M.Zh. "Hydrogenation furfurily in furfural alcohol in presence of floatable catalyst" The materials of international conference "The development of science in modern era", Kyiv, 17-20 (2012).
3. Dujsembiev M.ZH. Podbor i razrabotka katalizatorov gidrogenizacii furfurola. Nauka i sovremennost'-2012: tezisy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencij, Novosibirsk [Selection and development of catalysts for the hydrogenation of furfural. Science and modernity-2012: abstracts of the international scientific-practical conference, Novosibirsk], 171-175 (2012). [in Russian]
4. Popova G.YA., Andrushkevich T.V., Zaharov I.I., Chesalov YU.A., Kinetika i kataliz [Kinetics and catalysis], 46, 233 (2015). [in Russian]

### **Авторлар жайлы мәлімет:**

*Дүйсембиев М.Ж.* – химия ғылымдарының кандидаты, химия кафедрасы доценті, Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Байтұрсынова көшесі 13, Шымкент қ., Қазақстан.

*Duisembiyev M.Zh.* – Candidate of Chemistry, Associate Professor, Department of Chemistry, South Kazakhstan State Pedagogical University, 13 Baitursynov str., Shymkent, Kazakhstan.