

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 1, Number 421 (2017), 48 – 53

UDC 541.128, 547.261, 665.612.3, 662.767, 66.023:088.8

A.A. Gallamova¹, K.S. Rakhmetova², Z.T. Mataeva³

² JSC «D.V.Sokolski Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry» Almaty, rahmetova_75@mail.ru;

³Kazakhstan Engineering Technological University, Almaty;

¹Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty,

**DEVELOPMENT OF CATALYTIC SYSTEMS FOR PRODUCING
DIMETHYL ETHER FROM NATURAL GAS**

Abstract. In order to develop polyfunctional catalyst to dimethyl ether synthesis (DME) the nature of the active metals and modifier in the catalyst, the process parameters the behavior of the catalyst systems for the conversion of natural gas were investigated. Research of the production of methanol by direct partial oxidation of methane at the block of metal catalysts based on CuO was conducted. Secondary supports served chromium oxides, zinc, titanium, aluminum. The optimum ratio of CH₄: air = 5: 3. The most active catalyst in this reaction – ZnO – CuO, maximum methanol yield – 12.4%. The reaction of the dehydration of methanol to DME catalysts based on CuO, CoO, NiO supported on γ -Al₂O₃ was investigated. At T = 150–200°C, except for DME, methyl formate formed at higher temperatures, methane is also produced. The effect of feeding methanol in the mixture with air and argon to the output of DME at T = 150–350°C was studied. In argon reaction product was the only DME. Yield of DME in both environments at the most 250°C and makes up 28–42%, depending on the catalyst composition.

Keywords: dimethyl ether, methane, methanol, natural gas, catalysts, support

ӘОЖ: 541.128, 547.261, 665.612.3, 662.767, 66.023:088.8

А.А. Галламова¹, К.С. Рахметова², З.Т. Матаева³

¹К.И. Сатбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан;

² Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты АҚ, Алматы қ., Қазақстан;

³Қазақстан инженерлік технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

**ДИМЕТИЛ ЭФИРИН ТАБИГИ ГАЗДАН АЛУДЫҢ
КАТАЛИЗДІК ЖҮЙЕСІН ЖАСАУ**

Аннотация. Диметил эфирін алудың полифункционалды катализаторларын тағайындау мақсатында, табиғи газ конверсиясы кезіндегі катализдік жүйелерге катализатор құрамына енетін активті металл және модификаторлар табиғаттарының, процесті жүргізу параметрлерінің әсерлері зерттелді.

CuO катализаторында, блокты металлды катализаторларда метанның тікелей парциалды тотығумен метанол алудың зерттеу жұмыстары жүргізілді. Екінші реттік тасымалдағыш ретінде хром, цинк, аллюминий оксидтері қолданылды. Ең қолайлы қатынас- CH₄: ауа = 5: 3 қатынасы. Бұл реакцияда ең активті катализатор – ZnO-CuO, ең үлкен метанол шығыны – 12,4 %. γ -Al₂O₃ енгізілген CuO, CoO, NiO катализаторларында метанолдың диметилэфиріне дегидрациялану реакциясы зерттелді. T= 150-200-та ДМЭ-мен қоса метилформиат, ал одан жоғары температурада сонымен қатар метан түзіледі.

T= 150-350 °C-та ДМЭ-нің шығымы ауа мен аргон қоспасына метанолды енгізу әсері зерттелді. Аргон ортасында реакция өнімі тек ДМЭ болды. Екі ортада да катализатор құрамына байланысты ең үлкен ДМЭ шығымы 250°C- та 28- 42 % құрады.

Түйін сөздер: диметил эфирі, метан, метанол, табиғи газ, катализатор, тасымалдағыш.

Кіріспе. Еліміздегі экологиялық ахуалдың жылдан жылға нашарлап кетуінің негізгі себебі – автокөлік сандарының үздіксіз өсуі болып отыр. Қазақстанда 30 млн. астам автокөліктер бар екен, олардың ішінде 5,5...6 млн. жүк көліктері мен автобустар еншісінде. Атмосфераны ластайтын техногенді заттардың ішінде автокөліктер үлесі орташа 43%, парник газдар -10%, өнеркәсіптік қалдықтар – 2% құрап отыр. Атмосфераның ластануы мәселесі әлеуметтік және саяси бояу алып отырганы кездейсоқ жағдай емес. Орын алып отырган жағдай қандай да бір шара қолдануды талап етіп отыр.

Сондай шаралардың бірі - бұл мотор майларына балама экологиялық таза майлар қолдану. Оларды қолдану барысында қоршаған ортаға автокөліктердің көрінісінде көрінісінде. Ишкі жану қозғалтқыштарына арналған келешігі мол балама отындардың бірі диметил эфирі болып табылады. Қазіргі таңда бұл дәстүрлі дизель отынын толық алмастыра алатын жалғыз синтетикалық отын. Диметил эфиріне деген қызығушылықтың пайда болуын, соңғы жылдары отандық химиялық өнеркәсіпте диметил эфирін метаннан алуудың жаңа технологияларының жасалуымен түсіндіруге болады.

Жасалған зерттеулер - дизельдер үшін мотор майы ретінде диметил эфирді пайдалану оптимистік болжайлар жасауға негіз бола алатынын дәлел. Диметил эфирдың басқа дизель және балама отындардан артықшылығы көп. Оның құндылықтары: жанған кезде күйе аз болінетіндігі, пайдаланылған газдарда айтартықтай түтіннің болмауы, дизельден өздігінен тұтануы жоғары болуы (цетан саны ЦС = 55...60 салыстырғанда ЦС = 45...50 –дизель отыны үшін). ДМЭ қасиеттері және оның құрамында оттек атомының болуы - отынның түтінсіз жануын, қозғалтқыштың сұық күйінде іске қосылуын, шуыл деңгейінің төмендеуін қамтамасыз етеді.

Мотор отыны ретінде диметил эфирді, пропан-бутан, метанды пайдалану атмосфераға көміртегі оксидінің, көмірсутектердің және азот оксидінің шығуын басқа мотор майларымен салыстырғанда 30-70% төмендетеді.

Қазіргі таңда Швеция мен Дания елдерінің қоғамдық көліктері ДМЭ толығымен көшкен. Сонымен қатар Жапонияда да жүк таситын көліктер саласында осыған ұқсас іс-шаралар жүргізілуде [1].

ДМЭ алуудың бірнеше әдістері белгілі. Мысалы, зертханаларда ДМЭ H_2SO_4 метанолға әрекеттестіру арқылы алады. Өнеркәсіпте ДМЭ 1-3 МПа қысым мен $800-900^{\circ}C$ температурада синтез-газдан алынады, реакция нәтижесінде ДМЭ басқа метанол және метилформиат та алынады. Келешегі мол әдіс бұл ДМЭ метанолды дегидратациялау арқылы алу, Германия и Жапония елдерінді дәл осы жолмен алынады [1].

Қазақстанда, қазіргі таңда тек тұрмыстық отын ретінде қолданылып келе жатқан, табиғи газдың орасан зор қоры бар, оның негізгі көлемі шикізат ретінде тасымалданады.

Осыған орай, мұнайдан алынатын дизель отындарына бәсеке бола алатын, технологиялық жағынан қарапайым және үнемді, өз кезегінде әлемдік нарықтағы отын бағасын төмендетуге мүмкіндік беретін және атмосфераның экологиялық жағдайын жақсартатын - жаңа мотор отынын табиғи газдан алу үшін, тиімділігі жоғары каталіздік жүйе жасау арқылы ғана қол жеткізуге болады. Сондықтан Қазақстанның табиғи шикізатынан ДМЭ синтездеудің технологиялары мен катализаторларын жасау үлкен ғылыми және практикалық қызығушылық туғызып отыр.

Тәжірибелік бөлім. Әдістемелер: Кинетикалық, газхроматографиялық. Метанолдың диметил эфиріне айналу процесі зертханалық ағынды қондырығыда зерттелді. Кристалл 2000 M және Chrom 3700 хроматографтарында метанол және оның айналу өнімдерінің хроматографиялық талдаулары анықталды.

Әдебиеттерде метанолды метаннан және метанқұрамдас газдардан алуудың бірқатар әдістері бар [3-13]. Қазіргі кезде метанның метанолға тікелей тотығуының, синтез-газ алу сатысынсыз жүретін тиімді каталіздік процесстерін жасау мүмкіндіктері қарқынды зерттелуде.

Осыған орай метанолды диметил эфирге дегидратациялау процесіне әртүрлі каталіздік жүйелер дайындалып, сынақтан өткізілді, процесс атмосфералық қысымда зерттелді.

Нәтижелер және оны талқылау. Блокты металлды катализаторларда метанның тікелей парциалды тотығуымен метанол алуудың зерттеу жұмыстары жүргізілді. Екінші реттік тасымалдағыш ретінде хром, титан, цинк, аллюминий оксидтері қолданылды, олар блоктың металды каркасына нитратты тұздарынан алынап енгізілді. Катализаторлардың активті компоненттері

ретінде 5% шамасында мыс оксиді екінші реттік тасымалдағыштарға отырғызылды. Метан:аяу қатынасы 6:3 -тен 3:3 дейін өзгертілді. Газ ағынының көлемдік жылдамдығы 2000 сар¹ құрайды. Металды блокты катализатордың көлемі - 2 мл. Метанды метанолға дейін тотықтыруды зерттеу барысындағы катализаторлар құрамының метанол шығымына әсері 2 кестеде көрсетілгендей.

Кесте 1- ДМЭ және басқа да көмірсутекті отындардың физикалық қасиеттері [2]

Көрсеткіштер	ДМЭ	Метан	Пропан	Метанол	Дизель отыны
Химиялық формуласы	CH ₃ OCH ₃	CH ₄	C ₃ H ₈	CH ₃ OH	-
Кайна температурасы, °С	-25,1	-161,5	-42,0	64,6	180-370
Тығыздық, 20 °С-тегі, г/см ³	0,67	0,42	0,49	0,79	0,84
Каныққан булардың қысымы, 25 °С-тегі, МПа	0,61	24,6	0,93	-	-
Кинематикалық тұтқырлық 20°C-тегі, мм ² /с	0,15	-	0,17	-	3-5
Тұтану температурасы, °С	235	650	504	470	250
Жарылыс беру шегі, %	3,4-17	5-15	2,1-9,4	5,5-26	0,6-7,5
Цетан саны	55-60	0	5	5	40-55
Төмөнгі жану жылуы, кДж/кг	28 900	50 300	46 500	21 000	42 500

Кесте 2- Метанды парциалды тотықтыру процесіндегі катализаторлар құрамының метанол шығымына әсері

Катализатор	Метанол шығымы, %			
	400°C	450°C	550°C	600°C
Al ₂ O ₃ -CuO	1,27	1,9	4,3	5,7
Cr ₂ O ₃ - CuO	1,11	1,55	4,6	6,0
TiO ₂ -CuO	1,19	1,66	8,6	12,3
ZnO-CuO	1,28	2,0	7,8	12,4

Бұл зерттеуде ең активті катализатор – ZnO-CuO, ең үлкен метанол шығымы – 12,4 %., 600 °C температурада болды, сонымен қатар реактордан шыққан зат құрамында формальдегид, CO және су анықталды.

Метанолдың диметил эфирге дегидратациялану процесінде қолданылған блокты металды тасымалдағыштардағы әртүрлі катализдік жүйелерге зерттеулер жүргізілді.

Метанолды диметил эфирге дегидратациялау процесіне арналған блокты металды тасымалдағыштардағы әртүрлі катализдік жүйелер дайындалып, сынактан өткізілді. Катализаторлардың активті компоненттері ретінде 1-5% (салмақ) γ-Al₂O₃ отырғызылған мыс, никель және кобальт оксидтері қолданылды. Метанолдың диметил эфирге айналуы ағынды қондырғыда атмосфералық қысымда жүргізілді. З кестеде метанолдың диметил эфирге айналуы конверсиясы дәрежесінің температурасы әсері көрсетілген.

3 кесте Әртүрлі температуралардағы метанол конверсиясы

Катализатор	ДМЭ шығымы %,(температура, °C)				
	150	175	200	225	250
Al ₂ O ₃ -CoO	5,0	9,0	16,0	18,0	18,0
Al ₂ O ₃ -CuO	8,0	12,7	17,5	18,1	18,0
Al ₂ O ₃ -NiO	12,0	14,0	18,0	18,1	18,1

Берілген салыстырмалы төмен температураларда (150-200 °C) ДМЭ дең басқа метилформиат, ал одан да жоғары температураларда реакция өнімдерінде метан пайда болады.

Метанол дегидратациясы мен метанның парциалды тотығуы процестерінің айырмашылығын анықтау мақсатында, әртүрлі температурада метанолдың ауамен қоспада және аргонмен берілуінің ДМЭ шығымына әсері зерттелді (Кесте 4).

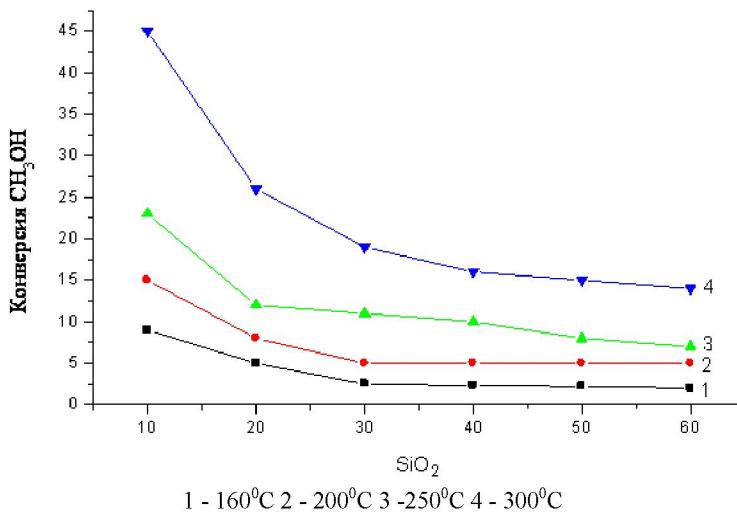
Аргонмен реакция жүргізген кезде көрсетілген температуралық интервалда метанолдың айналған жалғыз өнімі ДМЭ болды. Одан да жоғары температураларда ($\geq 350^{\circ}\text{C}$) екіншілік өнімдер – олефиндер C₂-C₄ пайда бола бастады. Одан басқа 4 кестеден байқап отырганымыздай аргонда да және оттегіде де метанол дегидратациясы бірдей температурада басталып отыр – 150°С.

Мөлшері 1,5-ден 40% дейін болатын аморфты кремний (полисорб МП) негізіндегі катализатор 140 -190°C диапазонда зерттелді.

Кесте 4 - Метанолдың ДМЭ айналуы

Катализатор құрамы, орта	ДМЭ шығымы %, (температура, $^{\circ}\text{C}$)				
	150	200	250	300	350
Al ₂ O ₃ -CoO (Ar)	6,0	11,0	28,0	26,0	20,0
Al ₂ O ₃ -CuO (Ar)	8,0	13,2	29,0	22,0	21,0
Al ₂ O ₃ -NiO (Ar)	16,0	26,0	32,0	24,0	18,0
Al ₂ O ₃ -CoO (O ₂)	7,2	10,8	30,0	20,0	15,0
Al ₂ O ₃ -CuO (O ₂)	8,4	17,0	33,0	21,0	18,0
Al ₂ O ₃ -NiO (O ₂)	19,0	24,0	42,0	36,0	30,0

Кремний мөлшерін көбейткен сайын метанолдың диметил эфирге айналуы төмендейтіні анықталды. Сурет 1.

Сурет 1 - Метанолдың ДМЭ айналуына катализатордағы SiO₂ концентрациясының әсері.

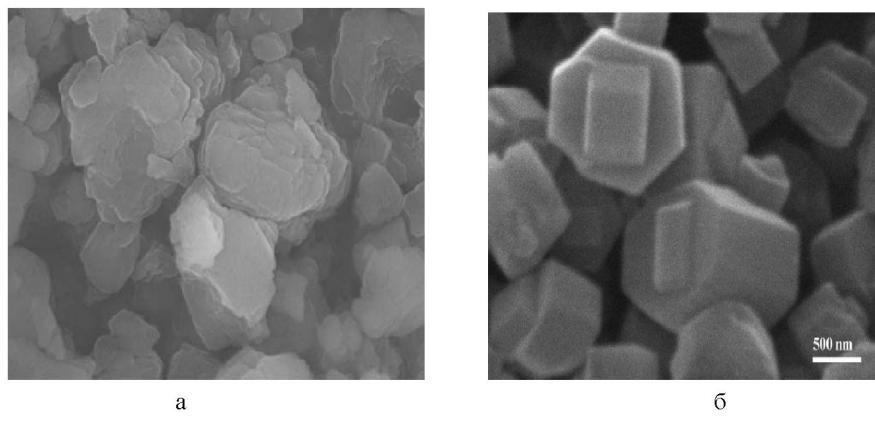
5 кестеде метанолдың ДМЭ айналу процесіндегі катализаторлардың тұрақтылығы уақытқа байланысты көрсетілген. Кестеден көріп отырғанымыздай ерекше тұрақты және активті катализатор 5 модульді цеолитті катализатор болып табылады. Оның активтілігі 65,2 % деңгейде 48 сағат бойы сакталды.

Кесте 5 - Метанолдың ДМЭ айналу процесіндегі катализаторлардың уақытқа байланысты тұрақтылығы

Катализатор	Температура $^{\circ}\text{C}$	Уақыт (сағат)		
		1 - 2	20 - 24	47 - 48
TiO ₂ /Al ₂ O ₃	205	65,6	59,5	54,9
SiO ₂ 1,6 %/ Al ₂ O ₃	215	65,4	58,4	58,4
SiO ₂ 4,5 %/ Al ₂ O ₃	221	68,3	64,1	64,5
SiO ₂ 22 %/ Al ₂ O ₃	225	64,8	58,0	55,0
TiO ₂ /Al ₂ O ₃ NH ₄ ⁺	335	64,1	62,0	60,5
HZSM - 5	190	66	65,2	65,2

Дайындалған катализаторлар электронды микроскопия көмегімен зерттелді. Үлгілер экстракциялы репликалар, сонымен қатар микродифракциялар қолдана отырып әлсіз сәуле арқылы түсіру әдістерімен зерттелді. Соның ішінде активтілігі жоғары HZSM-5 үлгісі тасымалдағыштың беттік қабатында орналасқан, дисперстік бөлшектердің жиынтығы ретінде көрсетілген. Электронды микроскопияны қолдану катализатордың құрылымдық ерекшеліктерін анықтауга мүмкіндік берді.

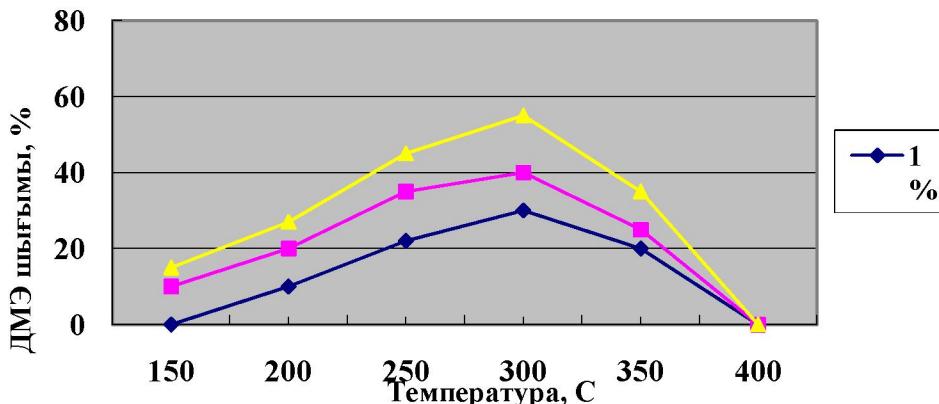
СЭМ түсірілімінде модификацияланбаған таза HZSM-5 цеолиті жақсы қоршалған кристалдармен (2 сурет, а) аз үлкейтілуде цеолиттің қабаттарының анық бейнеленгендігімен, 2 (б)-суретте көп үлкейтілуде кристалдар өлшемдері 420-740 нм. гексагональді пішінде көрсетілген.



Суреттің белгілеулері: а-ұлкейту x 5000, б- ұлкейту x 10000

Сурет 2 - СЭМ түсірілміндеi HZSM-5 цеолиті

Катализатордың активті компоненттері концентрациясының ДМЭ шығымына әсері никель-оксидті катализаторда зерттелді. Мұнда никель оксидінің концентрациясы 3-5 % шамасы арасында езгерілді (сурет 3).



Сурет 3 - ДМЭ шығымына NiO концентрациясының әсері.

Суреттен көріп отырғандай, құрамында ауыспалы металдары көп катализатордың дегидрациялау қабілеттіліктері жоғары.

Қорыта келе, CuO блокты металды катализаторында метанның тікелей парциалды тотығуымен метanol алууды зерттеуде екінші реттік тасымалдағыш ретінде хром, титан, цинк, аллюминий оксидтері қолданылып, қолайлы CH₄: ауа = 5: 3 қатынасында активтігі жоғары ZnO-CuO катализаторында метанолдың ең үлкен 12,4 %-дық шығымына қол жетті. Ал метанолдың диметилэфирине γ-Al₂O₃ енгізілген CuO, CoO, NiO катализаторларында дегидрациялану реакциясында, ДМЭ-мен қоса метилформиат, ал одан жоғары температурада сонымен қатар метан түзілетіні анықталды. Метанол дегидратациясы мен метанның парциалды тотығуы процестерінің айырмашылығын анықтау мақсатында, метанолдың ауамен және аргонмен берілудің ДМЭ шығымына әсері зерттеліп, мұнда аргон ортасында реакция өнімі тек ДМЭ болды. Екі ортада да катализатор құрамына байланысты ең үлкен ДМЭ шығымы 250°C-та 28- 42 % құрады.

ӘДЕБИЕТ

[1] Тер-Мкртичян Г.Г., Лукшю В.А.. Новый этап – диметиловый эфир. Отечественные разработки нового двигателя далеко опережают исследования США и Японии // Независимая газета.-М., 2007.- 10 апреля-С.4.

[2] Справочник нефтехимика / Под ред. С.К. Огородникова.-Т.2.-Л., 1978.-С.249-251.

[3] Васильев В. Диметиловый эфир. Надежды конструкторов, водителей и экологов // Основные средства.-2007.-№1.-С.18-20.

[4] Розовский А.Я. Проблемы переработки природного (попутного) газа в моторные топлива // Катализ в промышленности.-2001.-№1.-С.23-31.

- [5] Розовский А.Я. Новое топливо из природного газа // Интернет-журнал «Путь в науку». -2005.-№1.
- [6] Розовский А.Я. Диметиловый эфир и бензин из природного газа // Российский химический журнал.-2003.-№47.- С.53-61.
- [7] Патент РФ №2218988. Комплексный способ производства диметилового эфира из углеводородных газов // Розовский А.Я., Лин Г.И., Котельников В.Н., Майдуров Н.П., Петров В.Н., Бранд Б.Б., Махлин В.А., опубл.20.12.2003.
- [8] Розовский А.Я., Лин Г.И. Проблемы получения моторных топлив из альтернативного сырья // Изв.РАН, сер.хим.-2004.-№11.-С.2352-2363.
- [9] Кароль И.Л., Киселев А.А. Оценка ущерба "здравью" атмосферы // Природа.- 2003.- №6.- С.18-21.
- [10] Danilov A.M., Emelyanov V.E., High-octane gasoline: how to do? <http://www.newchemistry.ru> 8
- [11] Tretyakov V. Ph., Burdeynaya T.N., Matyshak V.A., Glebov L.S. *Environmental catalysis: Achievements and Prospects, 17 Mendeleevskii congress on General and Applied Chemistry*, Kazan, September 21-26, 2003. Abstracts, Kazan. 2003, .469p. 8
- [12] Karpov S.A., Features of oxygenates in gasoline, avtoref.diss...dokt.tekh.nauk, Ufa 2012, 46. 8
- [13] Sasykova L.R., Massenova A.T., Gilmundinov Sh.A., Bunin V.N., Rakhmetova K.S. *Selective Oxidation and Functionalization: Classical and Alternative Routes and Sources*, Berlin, Germany, Preprints of the Conference, 2014,181-187. 8

REFERENCES

- [1] Ter-Mkrtchyan G.G., Luksho V.A., New stage - dimethyl ether. Domestic developments of new engine are far ahead of the US and Japan findings, *Nezavisimaya gazeta*, M., April 10, 2007. (In Russ)
- [2] , S.K.Ogorodnikov, *Petrochemicalis handbook -L*, 2,1978, 249-251. (In Russ.).
- [3] Vasil'ev V.Dimethyl ether: Hope designers, drivers and ecologists, *Fixed assets*, 2007, 1, 18-20. (In Russ.).
- [4] Rozovskii A.Y. *J. Kamaliz v promishlennosty*, 2001, 1, 23-31. (In Russ.).
- [5] Rozovskii A.Y. *internet-journal «Put v nauku»*. 2005, 1. (In Russ.).
- [6] Rozovskii A.Y. *Rossiysky chimisheski journal* , 2003, 47, 53-61(In Russ.).
- [7] Patent Russian Federation №2218988. An integrated method for producing of dimethyl ether from the hydrocarbon gases, Rozovski A.Y, Lin G.I., Kotelnikov V.N., Maidurov N.P., Petrov V.N., Brand B.B., Mahlin V.A., 20.12.2003 (In Russ.).
- [8] Rozovskii AY, Lin G.I., *Izv.RAN, ser.him*, 2004, 11, 2352-2363. (In Russ.).
- [9] Karol' I.L., Kisselev A.A. Assessment of damage to "health" of the atmosphere, *Priroda*, 6, 2003, 18-21. (In Russ.).
- [10] Danilov A.M., Emelyanov V.E., High-octane gasoline: how to do? <http://www.newchemistry.ru> (In Russ.).
- [11] Tretyakov V. Ph., Burdeynaya T.N., Matyshak V.A., Glebov L.S. *Environmental catalysis: Achievements and Prospects, 17 Mendeleevskii congress on General and Applied Chemistry*, Kazan, September 21-26, 2003. Abstracts, Kazan. 2003, .469p. (In Russ.).
- [12] Karpov S.A., Features of oxygenates in gasoline, avtoref.diss...dokt.tekh.nauk, Ufa 2012, 46. (In Russ.).
- [13] Sasykova L.R., Massenova A.T., Gilmundinov Sh.A., Bunin V.N., Rakhmetova K.S. *Selective Oxidation and Functionalization: Classical and Alternative Routes and Sources*, Berlin, Germany, Preprints of the Conference, 2014,181-187. (In Eng.)

УДК 541.128, 547.261, 665.612.3, 662.767, 66.023:088.8

А.А.Галламова¹, К.С.Рахметова², З.Т.Матаева³

¹ Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И.Сатпаева, Алматы, Казахстан;

²АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им.Д.В.Сокольского», Алматы, Казахстан,
rahmetova_75@mail.ru;

³Казахстанский инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан,

РАЗРАБОТКА КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОЛУЧЕНИЯ ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Аннотация. С целью разработки полифункциональных катализаторов синтеза диметилового эфира (ДМЭ) исследованы природы активных металлов и модификаторов в составе катализатора, параметров проведения процесса на поведение каталитических систем при конверсии природного газа. Проведены исследования по получению метанола прямым парциальным окислением метана на блочных металлических катализаторах на основе CuO. Вторичными носителями служили оксиды хрома, титана цинка, алюминия. Оптимальное соотношение CH₄:воздух = 5:3. Наиболее активный катализатор в этой реакции – ZnO – CuO, максимальный выход по метанолу – 12,4 %. Исследована реакция дегидратации метанола в ДМЭ на катализаторах на основе CuO, CoO, NiO, нанесенных на γ-Al₂O₃. При T=150-200°C, кроме ДМЭ, образуется метилформиат, при более высоких температурах также образуется метан. Исследовано влияние подачи метанола в смеси с воздухом и аргоном на выход ДМЭ при T= 150-350°C. В аргонной среде единственным продуктом реакции был ДМЭ. Выход ДМЭ в обеих средах наибольший при 250°C и составляет 28-42 %, в зависимости от состава катализатора.

Ключевые слова: Диметиловый эфир, метан, метанол, природный газ, катализатор, носитель.