

NEWS

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

ISSN 2224-5286

Volume 2, Number 422 (2017), 166 – 177

UDC 541.128.13; 665.644.26; 665.658.62

**B.T. Tuktin¹, N.N. Nurgaliyev¹, B.M. Bagasharova¹,
M.T. Suleimenova², R.Kh. Turgumbayeva²**

¹ D.V. Sokolskiy Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan;

² Kazakh National Pedagogical University named after Abay, Almaty, Kazakhstan
E-mail: tuktin_balga@mail.ru

THE PROCESSING OF CRACKING GASES OVER THE MODIFIED ZEOLITE CATALYSTS

Annotation. Studied the process of processing sulfur-containing propane-propylene and butane-butylene fraction over zeolite catalysts such as KPM-16, KPM-19 and KTM-1.

The influence of technological parameters to conversion, yield aromatic compounds and selectivity have been studied. It found that at the processing of light hydrocarbons over these catalysts are formed aromatic compounds such as benzene, toluene, ethylbenzene, xylol, etc., and gas phase contains C₁-C₄ hydrocarbons. By increasing temperature from the 400°C to 600°C conversion C₄ increased 100%. The maximum yield of aromatic compounds on all studied catalysts reached to maximum at the temperature of 550-600°C.

Analysis of the results shows that the highest yield of aromatic hydrocarbons in the processing of propane – propylene fraction observed on KPM-16 catalyst: the maximum amount is formed at the temperature of 500°C and it is 33,8%.

The composition of processed products of butane-butylene and propane- propylene fraction shows, that studied catalysts have polyfunctional properties: formation of aromatic compounds occurs by one step as a result of cracking, dehydration, oligomerization and dehydrocyclization reactions. If there is some sulfur-containing crude, the desulphurization process occurs at the same time.

Key words: catalyst, aromatic compounds, zeolite, propane-propylene fraction, butane-butylene fraction

ӘОЖ 541.128.13; 665.644.26; 665.658.62

**Б.Т.Туктин¹, Н.Н.Нұрғалиев¹, Б.М.Бағашарова¹,
М.Т.Сұлейменова², Р.Х.Тургумбаева²**

¹«Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;

²Абай атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық Университеті, Алматы, Қазақстан

КРЕКИНГ ГАЗДАРЫН МОДИФИЦИРЛЕНГЕН ЦЕОЛИТҚҰРАМДЫ КАТАЛИЗАТОРЛАРДА ӨНДЕУ

Аннотация. Құрамында күкірті бар пропан-пропилен және бутан-бутилен фракцияларын модифицирленген КПМ-16, КПМ-19 және КТМ-1 цеолитті катализаторларында өндеу процесі жүргізілді. Технологиялық параметрлердің конверсияға, ароматты көмірсутектердің шығымына және селективтілікке әсері анықталды. Жеңіл көмірсутектерді жоғарыдағы катализаторлардың қатысында өндегенде сұйық фазада ароматты қосылыстар (бензол, толуол, этилбензол, ксилолдар) түзіліп, ал газ фазада С₁-С₄ көмірсутектері болатыны анықталды. Температура 400°С-тан 600°С-қа жоғарылағанда конверсия 100%-ға жетеді. Қолданылған катализаторлардың барлығында ароматты көмірсутектердің максималды шығымы 550-600°С-та анықталды.

Алынған нәтижелерге сәйкес, пропан-пропилен фракциясын өндегенде ароматты көмірсутектердің жоғары шығымы КПМ-16 катализаторында байқалды: максималды мөлшері 550°С-та түзіліп 33,8%-ға тең болды.

Бутан-бутилен және пропан-пропилен фракцияларын өңдегеннен алынған өнімдердің құрамы, зерттелген катализаторлардың полифункционалды қасиетке ие екендігін көрсетеді: ароматты көмірсутектер крекинг, дегидрлеу, олигомерлеу, дегидроциклдеу реакцияларының нәтижесінде бір сатыда пайда болады. Сонымен қатар, күкіртті шикізатты өңдегенде, күкірттен тазалау процесі де қатар жүреді.

Түйін сөздер: катализатор, ароматты қосылыстар, цеолит, пропан-пропилен фракциясы, бутан-бутилен фракциясы.

Кіріспе. Табиғи, ілеспе және мұнай зауыты газдарының құрамына кіретін жеңіл алкандарды тиімді пайдалану өзекті мәселе. Жеңіл көмірсутектерді каталитикалық өзгеріске ұшырауын зерттеу әлемнің көптеген ғылыми орталықтарында жүргізіліп келеді. Осы газдардың құрамындағы C_1-C_4 алкандар цеолитқұрамды катализаторларда ароматты көмірсутектерге айналады. Ароматты көмірсутектер көптеген мұнайхимиялық процестерге өте маңызды шикізат болып табылады [1-9].

Қазіргі таңда мұнайхимиялық және мұнайөңдеу өндірістерінде микрокеуекті құрылысты және қышқылды-негізді қасиетке ие, жеңіл алкандарды мұнайхимия синтезінің бағалы өнімдеріне айналдыратын, пентасил тектес жоғарыкремнеземді цеолит негізінде жасалған цеолитті катализаторлар кенінен қолданылады. Пентасилді құрылысты цеолиттің сутекті және модифицирленген формасын қолдану арқылы жеңіл молекулалы алкандарды ароматты көмірсутектерге айналдыру процесі жүргізілді [1-20].

Жұмыста крекинг газдарының (пропан-пропилен және бутан-бутилен фракциялары) жаңа модифицирленген цеолитті КПМ-16, КПМ-19 және КТМ-1 катализаторларында өңдеу процесі зерттелінді.

Эксперименттік бөлім

Цинк, молибден, фосформен модифицирленген және СЖЭ (сирек кездесетін жер элементтер) алюминий гидроксиді мен ZSM-5 цеолиті қоспасының және сәйкес тұздардың сіңіру арқылы жаңа цеолитті катализаторлар КПМ-16 (Mo-Zn-ZSM- Al_2O_3), КПМ-19 (Mo-La-ZSM- Al_2O_3) және КТМ-1 (Zn-La-P- Al_2O_3) дайындалды. Алынған катализаторлардың үлгілерін формалап 5 сағат бойы $150^\circ C$ -та кептіріліп, одан кейін 5 сағат $550^\circ C$ -та күйдірілді.

Ауыр мұнай фракцияларын каталитикалық крекингке ұшыратқанда бөлінетін газдарды ароматты көмірсутектерге айналдыру процесінде катализаторлар $400-600^\circ C$ температура аралығында, көлемдік жылдамдық $160-1420 \text{сағ}^{-1}$ және атмосфералық қысымда зерттелді. Олардың каталитикалық активтілігі тұрақты катализатор қабаты бар ағынды қондырғыда зерттелді. Бастапқы шикізат және газ өнімдерінің анализі, «Supelco» (АҚШ) фирмасының фторланған алюминий оксидімен толтырылған колонкасы бар ($3,5 \times 0,003 \text{ м}$) «Хром-5» хроматографында анықталды және капиллярлы колонкалы «Ajilient» хроматографы алынған сұйық өнімнің анализі үшін қолданылды.

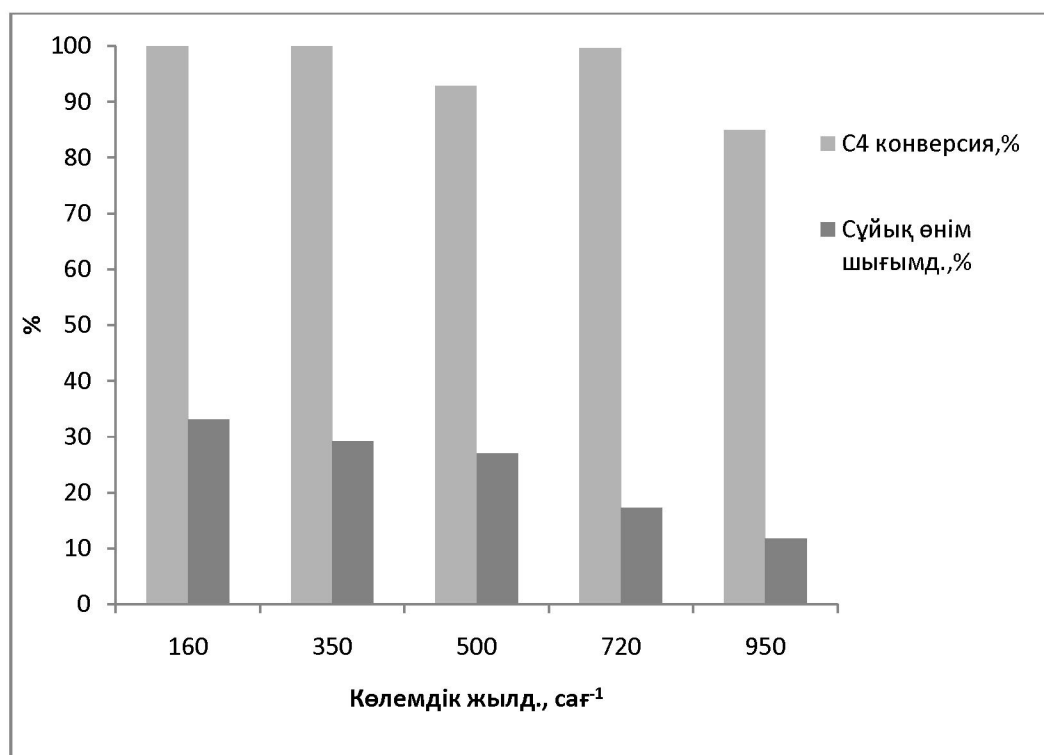
Нәтижелер және оларды талқылау. Құрамында күкіртті бар пропан-пропилен фракциясын өңдеу процесінде КПМ-16 катализаторының зерттеу нәтижелері 1-кестеде көрсетілді. КПМ-16 катализаторында пропан-пропилен фракциясын (ППФ) өңдегенде ароматты қосылыстар (бензол, толуол, этилбензол, ксилолдар), газ фазасында C_1-C_4 көмірсутектері түзілді. Көлемдік беру жылдамдық 350сағ^{-1} , температура $400^\circ C$ -тан $600^\circ C$ -қа артқанда конверсия 8,4-тен 100%-ға артады. Ароматты көмірсутектердің (АрК) шығымы 13,8-ден 29,2%-ға артады ($550^\circ C$). Температура $600^\circ C$ -қа дейін артқанда АрК шығымы 25,8%-ға дейін төмендейді. АрК бойынша максималды селективтілік $500^\circ C$ -та байқалады және ол 33,7%-ды құрайды. Одан жоғары температурада АрК бойынша селективтілік біршама төмен 31,4-25,8% болып, $400-600^\circ C$ аралығында толуолдың шығымы бензолмен салыстырғанда айтарлықтай жоғары. Көрсетілген жағдайдағы толуолдың мөлшері 35,6-45,3%, ал бензол 4,6-30,1%. Сұйық катализаттағы ксилолдың мөлшері 3,2-7,2%-ға тең. Этилбензолдың шығымы температура $400-600^\circ C$ аралығында артқанда 28,9-ден 9,9%-ға төмендейді. Шикізаттың құрамындағы карбонилсульфид $0,794$ -тен $400^\circ C$ температурада алынған өнімнің құрамындағы карбонилсульфиді $0,203 \text{ мг/м}^3$ -қа дейін төмендейді. Жоғары температураларда күкіртқұрамды қосылыстар анықталмады. Температура артқан сайын C_1-C_2 түзіліп, крекинг процесі байқалды.

Кесте 1 – КПМ-16 катализаторында пропан-пропилен фракциясын өңдеу процесіне температураның әсері

T, °C	Баст.газ	400	450	500	550	600
Конверсия C ₄ , %		-	8,4	76,6	92,9	100
Сұйық фаза шығымд., % масс		13,8	21,7	25,8	29,2	25,8
Селект. АрК, C ₄ %		-	-	33,7	31,4	25,8
Сұйық фаза құрамы, %						
Бензол		4,6	8,9	14,3	22,2	30,1
Толуол		35,6	42,0	41,0	45,3	45,0
Этилбензол		28,9	24,6	17,9	14,4	9,9
Ксилол		8,4	7,2	5,5	4,5	3,2
C ₅₋₆ - көмірсутектері		3,6	3,7	2,3	3,6	-
C ₈₊		18,9	13,6	19,0	10,0	11,8
Күкіртқұрамдас қосылыстар, мг/м ³						
Карбонилсульфид	0,794	0,203		жоқ	жоқ	жоқ
Метилмеркаптан	2,631	0,311		0,155	жоқ	жоқ

Пропан-пропилен фракциясын өңдеу процесінде шикізаттың көлемдік беру жылдамдығының КПМ-16 катализаторының активтілігіне және селективтілігіне әсері анықталды (1-сурет). КПМ-16 катализаторында 550°C температурада және шикізаттың көлемдік беру жылдамдығы 160 сағ⁻¹ болып пропан-пропилен фракциясын өңдегенде, конверсия 100%, ароматты көмірсутектердің шығымы 33,1%-ға тең. Шикізаттың көлемдік беру жылдамдығын 950 сағ⁻¹-ге дейін жоғарылатқанда, конверсия 84,9%-ға, сұйық фазаның шығымы 11,7%-ға дейін төмендейді.

Шикізаттың көлемдік беру жылдамдығын 160-950сағ⁻¹ аралығында арттырғанда, бензолдың шығымы 26,8-ден 16,4%-ға төмендеп, толуолдың шығымы 41,8-ден 48,5%-ға артады. Сонымен қатар этилбензолдың шығымы 10,7-ден 18,6%-ға артады. Ароматты көмірсутектердің пайда болу селективтілігі V=350 сағ⁻¹-де 33,8%-ға жетеді.



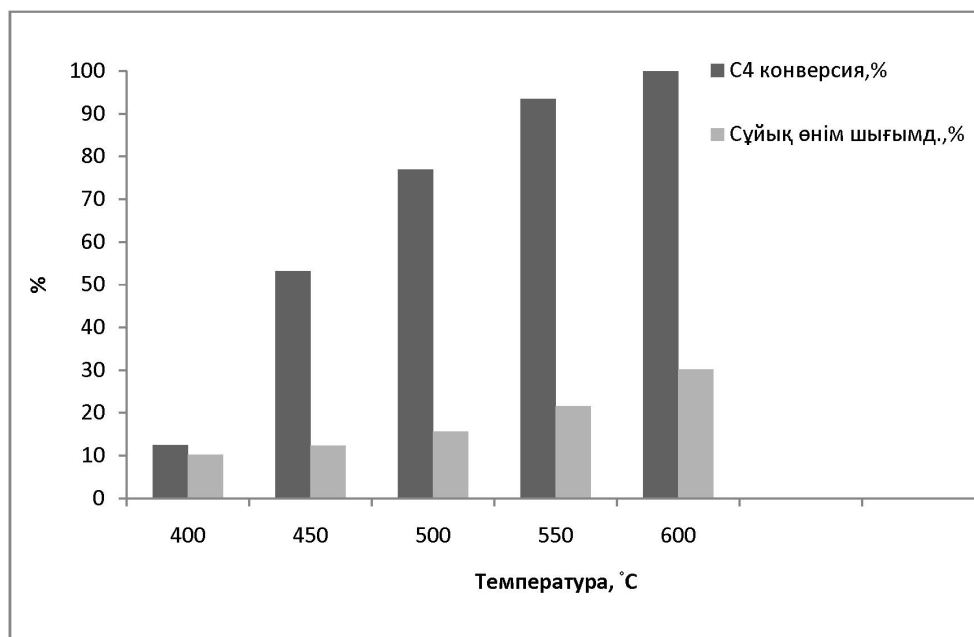
Сурет 1 – КПМ-16 катализаторында пропан-пропилен фракциясын өңдеу кезінде шикізаттың көлемдік беру жылдамдығының конверсия мен сұйық өнім шығымдылығына әсері

КПМ-16 катализаторының пропан-пропилен фракциясын өңдеу процесінде жұмыс жасау тұрақтылығын анықтау үшін зерттеулер жүргізілді. Зерттеулер 550°C және V=380сағ⁻¹ жағдайында

жүргізілді (2-кесте). Кестеде көрсетілген нәтижелерге сәйкес, катализатордың бастапқы 8 сағат жұмысында конверсия тұрақты және 100%-ға тең. Содан кейін конверсия біршама төмендейді. Сұйық фазаның шығымы бастапқыда 24,1%-ды көрсетеді. Кейін, ароматты көмірсутегілердің шығымы төмендеп, тұрақталады және 19,9-21,1% аралығында болады.

Кесте 2 – Пропан -пропилен фракциясын өңдеу процесінде КПМ-16 катализаторының тұрақтылығын зерттеу

Уақыт, сағ	Баст газ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Конверсия C ₄ , %		99,5	99,5	100	100	100	100	100	100	88,0	78,4
Сұйық фаза шығымд.,% масс		24,1	21,9	22,7	20,1	20,0	21,6	19,9	19,2	21,1	20,4
Селект. АрК, %		24,2	24,2	22,7	20,1	20,0	21,6	19,9	19,2	24,0	26,0
Сұйық фазаның құрамы, %											
Бензол		19,5	18,4	17,3	18,9	18,5	18,5	17,5	16,6	21,1	19,2
Толуол		46,7	47,0	46,8	46,8	47,1	47,8	48,4	47,0	48,6	47,2
Этилбензол.		16,3	16,9	17,4	15,8	16,3	16,8	17,3	17,6	15,2	15,9
Ксилол		5,1	5,2	5,3	4,8	4,9	5,1	5,2	5,3	4,7	5,0
C ₅₋₆ -көмірсутектер		0,6	0,9	2,1	1,0	2,7	1,3	0,4	0,4	0,5	0,8
C ₈₊		11,8	11,6	11,1	12,7	10,5	10,5	11,2	13,1	9,9	11,9
Күкіртқұрамдас қосылыстар, мг/м ³											
Карбонилсульфид	0,40	0,06	0,025	0,042	0,262	-	-	-	-	-	0,31
Метилмеркаптан	0,18	0,09	0,160	0,125	0,100	-	-	-	-	-	0,17



Сурет 2 – КПМ-19 катализаторында пропан-пропилен фракциясының өңдеу кезінде температураның конверсия мен сұйық өнім шығымдылығына әсері

Бұл жағдайларда (550 °C және $V=380\text{сағ}^{-1}$) катализатордың бастапқы он сағат жұмыс жасау уақытында бензолдың шығымы 18,1-19,5%-ды көрсетеді. Толуолдың шығымы бұл уақыт аралығында айтарлықтай өзгермейді, бірақ оның шығымы бензолмен салыстырғанда жоғары және 46,4-48,6% аралығында болады. Этилбензолдың шығымы 15,2-17,4%, ал ксилолдың шығымы 4,8-

5,3%-ға тең. Газ фазасында C_1 - C_4 көмірсутектері анықталды. Метанның шығымы көп емес және реакция кезінде 19,4-тен 10,0%-ға төмендейді. Этанның мөлшері 13,1-25,7%-ға тең. Бұл жағдайларда шикізаттағы карбонилсульфидтің мөлшері 0,405-тен 0,069-0,317 мг/м³-қа, ал метилмеркаптанның мөлшері 0,18-ден 0,09-0,17 мг/м³-қа дейін төмендейді.

Шикізаттың көлемдік беру жылдамдығы 500 сағ⁻¹, пропан-пропилен фракциясын КПМ-19 катализаторында өңдеу процесін зерттеу барысында 400°С температурада конверсия 12,5%-ға тең екендігі анықталды. Температураны ары қарай арттырғанда конверсия өседі. C_4 бойынша максималды конверсия 600°С-та 100%-ды көрсетеді. Тәжірибенің температурасын 400-ден 600°С-қа арттырғанда ароматты көмірсутектердің шығымы 10,2-ден 30,2%-ға дейін артады (2-сурет). АрК максималды селективтілігі 400°С-та 81,6%-ды көрсетеді. Температураны 400-ден 550°С-қа арттырғанда толуолдың шығымы 39,0-дан 42,4%-ға артады, одан кейін 34,6%-ға дейін төмендейді (600°С). Этилбензолдың мөлшері 39,0-дан 10,0%-ға дейін бірте-бірте төмендейді. Катализаттағы бензолдың шығымы 5,2%-дан (400°С) 600°С температурада 19,5%-ға дейін артады. Катализаттағы ксилолдың мөлшері көп емес 3,3-8,6%-ды құрайды. Метанның шығымы температура артқан сайын 0,1-ден 30,0%-ға дейін өседі. Температураны 400°С-тан 600°С-қа дейін арттырғанда этанның шығымы 2,3%-дан 25,6%-ға дейін артады. Бастапқы шикізаттың көмірсутектерінің крекингіленуі КПМ-16 катализаторымен салыстырғанда КПМ-19 катализаторында жоғары. Бұл жағдайларда шикізаттағы карбонилсульфидтің мөлшері 0,794-тен 0,173 мг/м³-қа дейін, 500°С температурада метилмеркаптанның мөлшері 2,631-ден 0,298 мг/м³-қа дейін төмендейді. Температураны ары қарай жоғарылатқанда катализатта күкіртті қосылыстар болған жоқ.

КПМ-19 катализаторында пропан-пропилен фракциясын өңдеу процесіне шикізаттың көлемдік беру жылдамдығының әсері зерттелінді (3-кесте). 550°С-та шикізатты берудің көлемдік жылдамдығы 160 сағ⁻¹ болғанда конверсиясы 99,5%, ароматты көмірсутектердің шығымы 11,9%, селективтілігі 11,9%-ды құрады. Шикізатты берудің көлемдік жылдамдығы 950 сағ⁻¹-не дейін артқанда C_4 конверсиясы 56,6%-ға дейін төмендейді. Сұйық фазаның шығымдылығы өзгереді, шикізаттың көлемдік беру жылдамдығы 350 сағ⁻¹ болғанда ең жоғары мәні 22,6%, ал 950 сағ⁻¹ болғанда 7,1%-ға дейін төмендеді. 350-500сағ⁻¹ аралығында ароматты көмірсутектердің селективтілігі 23,1-23,4%-ды құрады.

Кесте 3 – КПМ-19 катализаторында пропан-пропилен фракциясын өңдеу процесіне шикізаттың көлемдік беру жылдамдығының әсері

$V, \text{сағ}^{-1}$	Баст. газ	160	350	500	720	950
Конверсия $C_3, \%$		58,0	30,4	26,2	8,3	6,2
Конверсия $C_4, \%$		99,5	96,6	93,5	76,8	56,6
Сұйық фаза шығымд, % масс		12,0	22,6	21,6	11,3	7,1
Селект. АрК, $C_4\%$		11,9	23,4	23,1	14,7	12
Сұйық фаза құрамы, % масс						
Бензол		19,9	16,0	17,7	9,3	9,1
Толуол		44,8	42,3	42,4	39,1	43,9
Этилбензол		14,1	17,2	17,0	23,9	25,8
Ксилол		4,5	5,5	5,5	7,3	7,7
C_{5-6}		-	3,3	1,0	0,7	0,1
C_{8+}		16,7	15,7	16,4	19,7	13,4

Шикізаттың көлемдік беру жылдамдығын 160-тан 950 сағ⁻¹-ге дейін арттырғанда, бензолдың шығымы 19,9-дан 9,1%-дейін төмендеп, ал толуолдың шығымы 39,1-44,8% -ға жетіп, жоғары мәнге ие болады. Сұйық катализатта этилбензолдың үлесі 14,1-25,8%-ға артады. Ксилолдың шығымы айтарлықтай төмен, 4,5-7,7%-ды құрады. Көмірсутектер крекинг шикізаттың беру жылдамдығы артқан сайын баяулап, метан мен этанның бөлінуі сәйкесінше 29,4-тен 4,5%-ға және 32,2-ден 7,5%-ға төмендейді.

КПМ-16 катализаторы қатысында шикізаттың көлемдік беру жылдамдығы 500 сағ⁻¹ болғанда, бутан-бутилен фракциясын өзгеріске ұшырау процесіне температураның әсеріне зерттеу жүргізілді

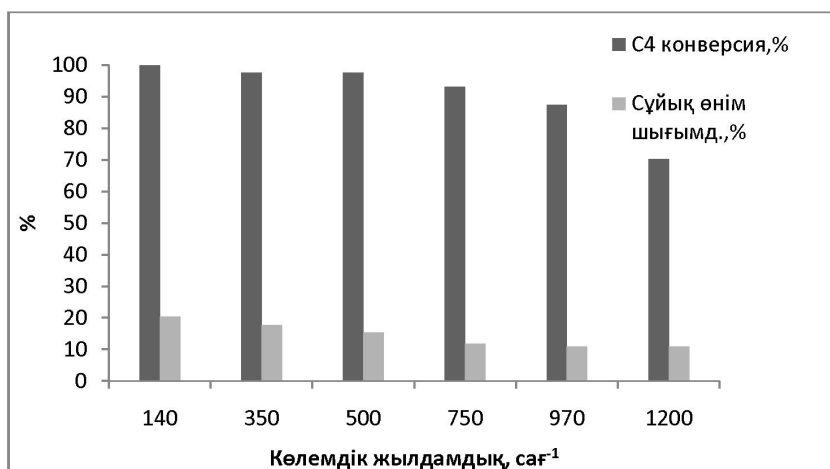
(4-кесте). КПМ-16 қатысында бутан-бутилен фракциясын өндегенде, C_1 - C_4 газтәріздес көмірсутектер мен сұйық өнімдер (бензол, толуол, этилбензол, ксилолдар және т.б.) түзілді. Температураның 400-600°C аралығында конверсия 25,2-ден 100%-ға артты. Осы жағдайда 550°C-та ароматты көмірсутектердің шығымы 5,5-тен 15,4%-ға артады. Температура 600°C-қа дейін өскенде ароматты көмірсутектердің шығымы 12,9%-ға дейін төмендеді. 400°C-та АрК бойынша максималды селективтілігі 21,8% құрады. Температураны 600°C-қа дейін арттырғанда, АрК бойынша селективтілігі 12,9%-ға дейін төмендеді. Температураның 400-600°C интервалында толуолдың шығымы бензолдан артығырақ: толуол шығымы 37,3-47,6% болғанда, бензол 3,3-35,7%-ды құрайды. Сұйық катализаттағы ксилолдың мөлшері 2,5-10,3%-ға тең болды. Этилбензолдың шығымы 400°C-та 34,95%-ды құрайды, бірақ температураның жоғарулауымен шығымы 7,5%-ға дейін кеміді. Температура артқан сайын C_1 - C_2 көмірсутектері түзіліп, крекинг арта түседі және де күкіртқұрамдас қосылыстардың үлесі азайды. 400°C-та бастапқы карбонилсульфидтің мөлшері 1,088 мг/м³-тан 0,818 мг/м³-қа дейін төмендеді. Осы жағдайларда 550°C-та метилмеркаптаннның үлесі күрт 4,075-тен 0,216 мг/м³-ке төмендеді (4-кесте). Бутан-бутилен фракциясын 450-600°C температурада өндегенде күкіртқұрамдас қосылыстар табылмады.

Кесте 4 – КПМ-16 катализаторында бутан-бутилен фракциясын өңдеу процесіне температураның әсері

T, °C	Баст.газ	400	450	500	550	600
Конверсия C_3 , %		-	-	-	-	98,0
Конверсия C_4 , %		25,2	37,6	76,6	97,7	100
Сұйық фаза шығымд, % масс		5,5	7,7	13,8	15,4	12,9
Селект. АрК, C_3 %		-	-	-	-	13,1
Селект. АрК, C_4 %		21,8	20,5	18,0	15,8	12,9
Сұйық фаза құрамы, % масс						
Бензол		3,3	8,0	16,7	21,8	35,7
Толуол		37,3	46,5	47,6	42,8	41,7
Этилбензол		34,9	24,9	17,8	11,4	7,5
Ксилол		10,3	7,5	5,5	3,6	2,5
C_{5-6}		0,5	2,1	1,0	-	0,1
C_{8+}		13,7	11,0	11,4	20,4	12,5
Күкіртқұрамдас қосылыстар, мг/м ³						
Карбонилсульфид	1,088	0,818	жоқ	Жоқ	жоқ	жоқ
Метилмеркаптан	4,075	1,924	0,315	0,216	жоқ	жоқ

Бутан-бутилен фракциясын өңдеу процесінде шикізатты берудің көлемдік жылдамдығының КПМ-16 катализаторының активтілігі мен селективтілігіне әсері зерттелінді. (3-сурет). КПМ-16 катализаторы қатысында температура 550°C болғанда, шикізатты берудің көлемдік жылдамдығы 140 сағ⁻¹-де бутан-бутилен фракциясын өндегенде C_4 бойынша конверсиясы 100% құрады, ал ароматты көмірсутектің шығымы 20,5% құраса, селективтілігі АрК бойынша 20,9%-ға тең болды. Шикізатты берудің көлемдік жылдамдығы 1200 сағ⁻¹-ге дейін артқанда, C_4 көмірсутектер конверсиясы мен сұйық фазаның шығымы сәйкесінше 70,0% бен 10,9% болды. $V=140$ сағ⁻¹ болғанда, бензолдың шығымы 30,4%, ал $V=1200$ сағ⁻¹ болғанда, 17,1%-ды құрады. Осы жағдайда толуолдың шығымы 42,8-50,2%-ды құрап, этилбензол мөлшері 10,0-17,6%-ға тең болды. Ксилолдың шығымы 3,2-5,1% құрап, шикізатты берудің көлемдік жылдамдығына іс жүзінде тәуелді болмайды. Ароматты көмірсутектердің түзілу бойынша селективтілігі шикізатты беру жылдамдығы артқан сайын төмендейді.

Бутан-бутилен фракциясын берудің көлемдік жылдамдығы 140-тан 1200 сағ⁻¹-ге артқанда, крекинг процесінің үлесі азайып: метанның мөлшері 44,7-тен 8,8%-ға, этанның 37,1-5,3%-ға тқмендейді.



Сурет 3 – КПМ-16 катализаторында бутан-бутилен қоспасын өңдеу кезінде шикізаттың көлемдік беру жылдамдығының конверсия мен сұйық өнім шығымдылығына әсері

КПМ-16 катализаторының жұмысының тұрақтылығы бутан-бутилен фракциясын өңдеу процесінде зерттелді. Зерттеулерді температура 550°C және $V=380\text{сағ}^{-1}$ болған жағдайда жүргізілді (5-кесте). Катализатордың алғашқы төрт сағат жұмысында конверсия тұрақты шамада болып, 93,6-97,4%-ды құрады. Он сағаттан кейін 75,8, %-ға төмендейді. Сұйық фазаның шығымы өңдеу басталғанда 20,4%-ға тең болып, кейінірек ароматты көмірсутектердің шығымы төмендейді және 18,0-19,5% аралығында өзгереді.

Осы жағдайларда катализатор он сағат жұмысы істегенде бензол шығымы 19,6-22,3% аралығында құбылады. Толуолдың шығымы аз өзгереді, бірақ та бензолдан жоғарырақ болып, 46,3-48,6%-ды құрады. Этилбензол шығымы 13,6-15,9%, ксилолдар 4,3-5,0%-ға тең. Газ фазасында C₁-C₄ көмірсутектері анықталынды, олардың мөлшері реакция жүруі кезінде азаяды.

Кесте 5 – КПМ-16 катализаторының тұрақтылығын бутан-бутилен фракциясының өңдеу процесінде зерттеу

Уақыт, сағ	Баст. газ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Конверсия C ₄ , %		93,6	97,4	96,2	95,4	86,4	87,1	88,3	87,7	83,7	75,8
Сұйық фаза шығымд., % масс		20,4	19,5	18,1	17,8	18,4	19,2	18,4	19,0	18,1	18,0
Селект. АрК, %		21,8	20,0	18,8	18,6	21,3	25,3	20,8	21,7	21,6	21,1
Сұйық фаза құрамы, % масс											
Бензол		21,5	22,0	19,6	22,9	22,3	19,2	20,2	21,6	20,2	21,2
Толуол		47,0	47,9	47,4	46,3	48,0	47,2	47,5	47,5	47,5	48,6
Этилбензол		14,7	13,6	15,9	13,9	16,4	15,9	15,6	15,0	15,6	15,2
Ксилолдар		4,5	4,3	5,0	4,4	4,8	5,0	4,8	4,6	4,9	4,7
C ₅₋₆		3,3	1,5	1,0	0,5	1,0	0,8	0,5	0,5	0,6	0,8
C ₈₊		9,0	10,7	11,1	12,0	15,5	11,9	11,4	10,8	11,2	19,2

Жоғарыда келтірілген мәліметтер катализатордың регенерациясыз жұмыс істеу уақытының артуы нәтижесінде кокс түзіліп, активті орталықтар жабылып, шикізаттың конверсиясы мен ароматты көмірсутектердің шығымы кемиді.

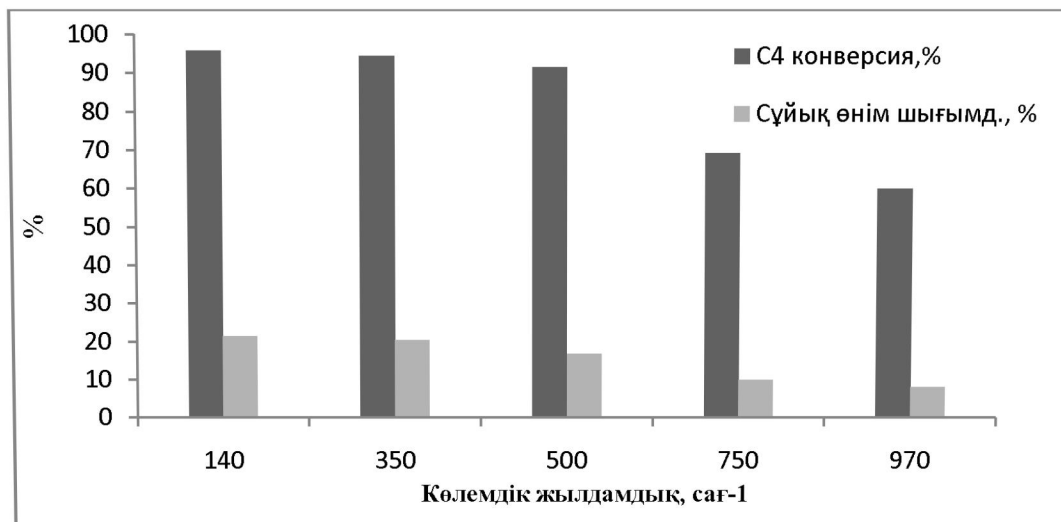
6-кестеде КПМ-19 катализаторында шикізатты берудің көлемдік жылдамдығы 500 сағ⁻¹-де бутан-бутилен фракциясын өзгеріске ұшырату процесіне температураның әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. КПМ-16 катализаторындағыдай бутан-бутилен фракциясын КПМ-19 катализаторы қатысында өндегенде де реакция нәтижесінде газтәріздес (C₁-C₄ көмірсутектер) және сұйық (бензол, толуол, этилбензол, ксилолдар және т.б.) өнімдер түзіледі. Температураның 400-ден 600 °C-қа жоғарылағанда, C₄ көмірсутектер конверсиясы 49,3-тен 95,9%-ға артады. Ароматты көмірсутектердің шығымы мен АрК бойынша селективтілігі сәйкесінше 5,5-тен 18,2% және 11,1-ден 19,9%-ға артады. 400-600°C аралығында бензол шығымы 7,3-ден 21,4%-ға, толуолдікі 37,3-тен

43,9%-ға көбейеді. Катализаттағы ксилолдың мөлшері 4,6-7,2% болды. Этилбензолдың шығымы температура 400-ден 600°C-қа артқанда, 24,4-тен 14,1%-ға кеміді.

Температура артқан сайын C₁-C₂ көмірсутектер түзілуі артты, крекинг күшейеді: метан үлесі 0,3-тен 26,6%-ға өсіп, ал этан 1,2-ден 24,1%-ды құрады. Тәжірибенің температурасы өскенде, әсіресе 550-600°C-та күкіртқұрамдас қосылыстардың мөлшері күрт азайды.

Кесте 6 – КПМ-19 катализаторында бутан-бутилен фракциясын өңдеу процесіне температураның әсері

T, °C	Баст. газ	400	450	500	550	600
Конверсия C ₄ , %		49,3	71,3	83,2	91,6	95,9
Сұйық фаза шығымд. % масс		5,5	8,9	13,0	16,8	18,2
Селект. АрК, C ₄ %		11,1	12,5	15,6	18,3	18,9
Сұйық фаза құрамы, % масс						
Бензол		7,3	9,3	13,8	19,0	21,4
Толуол		37,3	36,1	38,8	42,5	43,9
Этилбензол		24,6	22,5	19,6	16,5	14,1
Ксилол		7,2	6,9	6,1	5,2	4,6
C ₅₋₆		1,4	2,1	3,8	3,4	0,7
C ₈₊		22,2	23,1	18,3	13,4	15,3
Күкіртқұрамдас қосылыстар, мг/м ³						
Карбонилсульфид	1,088	0,408	0,324	0,152	із	із
Метилмеркаптан	4,075	0,428	0,298	0,203	із	із



Сурет 4 - КПМ-19 катализаторында бутан-бутилен фракциясын өңдеу кезінде шикізаттың көлемдік беру жылдамдығының конверсия мен сұйық өнімнің шығымдылығына әсері

Бутан-бутилен фракциясын өңдеу процесінде шикізаттың берудің көлемдік жылдамдықтың КПМ-19 катализаторының активтілігі мен селективтілігіне әсерін зерттеулері (4-сурет), температура 550°C, шикізатты берудің көлемдік жылдамдығы 140сағ⁻¹-де C₄ көмірсутектер конверсиясы айтарлықтай жоғары болып, 95,9%-ды құрайтынын көрсетті. Шикізатты берудің көлемдік жылдамдығы 970 сағ⁻¹-ге артқанда конверсиясы 60,0%-ға дейін кеміді. V=140 сағ⁻¹ болғанда ароматты көмірсутектердің шығымы 21,4%, ал селективтілігі АрК бойынша 22,3%-ды құрады. Көлемдік жылдамдық 970сағ⁻¹-ге артқанда, сұйық фазаның шығымы 8,0%-ға, ал селективтілігі АрК бойынша 13,3%-ға дейін төмендейді.

Бутан-бутилен фракциясын өңдеу процесінде шикізатты берудің көлемдік жылдамдығы артқанда бензолдың шығымы 17,3-тен 11,2%-ға азайды. Осы жағдайларда толуолдың шығымы шикізаттың беру жылдамдығына аса тәуелді емес және 41,5-43,7%-ды құрады, ал бөлінетін

этилбензолдың мөлшері 16,4-тен 28,8%-ға артады. Ксилолдың шығымы толуолдікі сияқты шикізат беру жылдамдығына көп тәуелді емес және 5,2-6,9%-ды құрады. Бутан-бутилен фракциясын өңдеу процесінде шикізатты берудің көлемдік жылдамдығының артуымен крекинг процестерінің үлесі азайып, метанның мөлшері 26,7-ден 5,5%-ға, ал этан 23,7-ден 6,8%-ға дейін кеміді.

КПМ-19 катализаторының бутан-бутилен фракциясын 550°C , $V=380\text{сағ}^{-1}$ жағдайында өңдеуде жұмыс істеу тұрақтылығы зерттелінді (7-кесте). Кестеде берілген мәліметтер көрсеткендей, катализатордың бастапқы үш сағат жұмысында конверсиясы тұрақты шамада 73,4-73,8% болды. Кейінірек конверсия 56,7%-ға төмендейді. Сұйық фаза шығымы процестің бастапқы кезінде 16,1-15,4%-ға тең болса, кейін шығымдылық 9,8%-ға төмендеді. Сұйық фаза өнімінің сапалық және сандық анализы іс жүзінде реакцияның жүру уақытына тәуелді емес. Катализатордың 6 сағат жұмысында бензолдың шығымы 9,2-11,1%, толуолдың шығымы жоғарылау болып, 37,5-41,9% аралығын қамтыды. Этилбензолдың шығымы 22,6-25,6%, ксилол-6,6-7,5% болды. Газ фазасында метанның шығымы көп емес, реакция кезінде 7,7-8,6 -дан 5,0%-ға, этанның мөлшері 10,5-тен 6,1%-ға азайды.

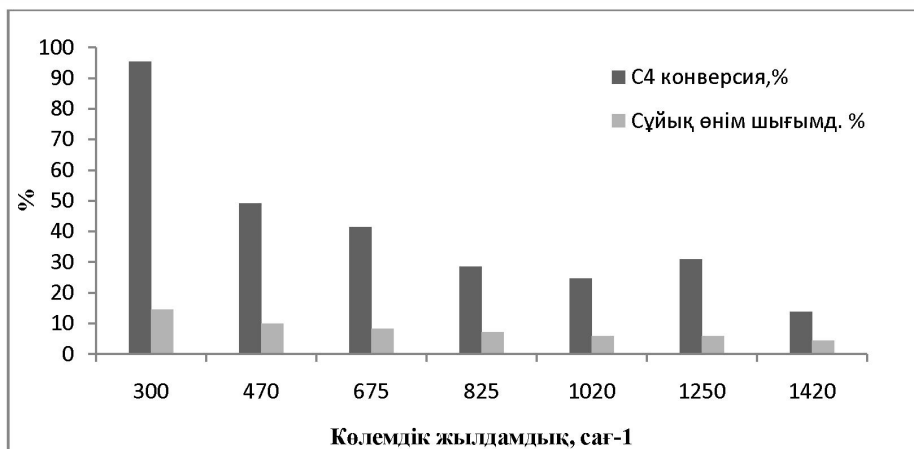
КТМ-1 катализаторында 300сағ^{-1} -де, температура 400°C -тан 600°C -қа артқанда конверсия 8,6-дан 96,1%-ға дейін жоғарылайды (7-кесте). Бұл жағдайларда 550°C -та ароматты көмірсутектердің шығымы 7,8-ден 15,6%-ға дейін өседі. Температура 600°C -қа дейін өскенде, конверсия 11,1%-ға дейін төмендейді. Максималды селективтілік 400°C -та байқалды және ол 90,7%-ды құрайды. 400 - 600°C аралығында толуолдың шығымдылығы бензолмен салыстырғанда біршама жоғары. Бұл жағдайларда толуолдың шығымы 22,3-50,1%-ға тең болды, ал бензолдың шығымы 2,1-31,2% болды. Сұйық катализаттағы ксилолдың мөлшері 3,0-6,2%-ды құрады. Этилбензолдың шығымы температура 450 - 600°C аралығында өскенде 26,0-дан 9,9%-ға төмендейді.

Кесте 7— КТМ-1 катализаторында пропан-пропилен фракциясын өңдеу процесіне температураның әсері ($V=300\text{сағ}^{-1}$)

T, °C	Баст.газ	400	450	500	550	550	600
Конверсия C ₄ , %		8,6	22,7	58,0	72,2	95,4	96,1
Сұйық фаза шығымы, % масс		7,8	8,3	10,1	15,6	14,5	11,1
Селект. АрК, C ₄ %		90,7	36,6	17,4	21,6	15,2	20,0
Сұйық фазаның құрамы, %							
Бензол		2,1	5,7	10,4	17,4	24,2	31,2
Толуол		22,3	40,1	47,1	50,1	47,5	44,4
Этилбензол		24,8	26,0	21,9	17,2	13,9	9,9
Ксилол		4,8	6,2	5,2	4,4	3,8	3,0
C ₅ -C ₆ көмірсутектер		14,3	3,8	3,9	0,3	1,2	0,2
C ₈₊		31,7	18,2	11,5	10,6	9,4	11,3

Пропан-пропилен фракциясын өңдеу процесінде шикізатты көлемдік беру жылдамдығының КТМ-1 катализаторының активтілігіне әсері зерттелді (5-сурет). Пропан-пропилен фракциясын КТМ-1 катализаторында өңдеу 550°C -та және шикізатты көлемдік беру жылдамдығы 300сағ^{-1} жағдайында конверсия 95,4% болып, ароматты көмірсутектер шығымы 14,5% құрайды. Шикізаттың көлемдік беру жылдамдығын 1420сағ^{-1} -ге дейін арттырғанда, конверсия 13,8%-ға дейін төмендейді, сұйық фазаның шығымы 4,5%-ды құрайды.

Шикізаттың көлемдік беру жылдамдығын 300 - 1420сағ^{-1} аралығында арттырғанда, бензолдың шығымы 24,2-ден 12,6%-ға дейін төмендейді. Толуолдың шығымы шикізаттың көлемдік беру жылдамдығы 300 - 825сағ^{-1} аралығында өзгергенде 47,5-тен 52,3%-ға дейін өседі де, одан кейін $V=1420\text{сағ}^{-1}$ болғанда 49,3%-ға дейін төмендейді. Бұл жағдайларда көлемдік беру жылдамдықты 300 - 825сағ^{-1} аралығында өзгерткенде, этилбензолдың шығымы 13,9-дан 24,5 %-ға дейін артады да, $V=1420\text{сағ}^{-1}$ -ге жеткенде 19,8%-ға дейін төмендейді. $V=1420\text{сағ}^{-1}$ болғанда селективтілік 32,6%-ға дейін жетеді.



5-сурет-Пропан-пропилен фракциясын КТМ-1 катализаторында өңдеу кезінде шикізаттың көлемдік беру жылдамдығының конверсия мен сұйық өнім шығымдылығына әсері ($T = 550^{\circ}\text{C}$)

Пропан-пропилен фракциясын өңдеу процесінде қолданылған КТМ-1 катализаторы жұмысының тұрақтылығын анықтауға зерттеу жүргізілді. Зерттеу жұмысы 550°C және $V=300\text{саġ}^{-1}$ жағдайында жүргізілді. Катализатор алғашқы төрт сағат жұмыс істегенде, конверсия тұрақты және 100%-ды құрайды. Содан кейін конверсия төмендейді және сегіз сағат жұмыстан соң 71,3%-ды құрайды. Ароматты көмірсутектердің шығымы 1,6-12,1% аралығында болды. Катализатор ұзақ уақыт регенерациясыз жұмыс жасауының нәтижесінде кокстеліп, катализатор бетіндегі белсенді орталықтар жабылады, ол шикізат конверсиясының және ароматты көмірсутектердің шығымын төмендетуге алып келеді.

Қорытынды. Зерттеулер нәтижелері пропан-пропилен фракциясын өндегенде, КТМ-16 катализаторында ароматты көмірсутектердің шығымы жоғары болатынын көрсетеді, олардың максималды мөлшері 550°C -та түзіліп, 33,8%-ды құрайды.

Бутан-бутилен және пропан-пропилен фракцияларын өндеу өнімдерінің құрамы КММ, КТМ катализаторлары полифункционалды қасиетке ие екендігін көрсетеді: крекинг, дегидрлеу, олигомерлеу, дегидроциклдеу реакцияларының нәтижесінде ароматты көмірсутектердің пайда болуы бір сатыда жүреді. Сонымен қатар күкіртті шикізатты өндеген жағдайда, бір уақытта күкірттен тазалау процесі де жүреді.

Зерттеулерді қаржыландыру қоры: Жұмыс ҚР білім және ғылым министрлігі Ғылым комитетінің 218/ҒФ4 «Олефинді және ароматты көмірсутектер алудың жаңа технологиялары» және 220/ҒФ4 «Ауыр мұнай фракцияларын моторлы отындар мен ароматты қосылыстарға кешенді қалдықсыз өндеу» жобаларын қаржыландыруымен орындалды.

ӘДЕБИЕТ

[1] Дергачев А.А., Лапидус А.Л. Каталитическая ароматизация низших алканов // Журнал Росс.хим. общества им.Д.И.Менделеева. – 2005. – Т. LII, № 4. – С. 15–21.

[2] Ечевский Г. Получение ароматических углеводородов из ПНГ и других легких фракций // Нефтегазовые технологии. – 2012. – № 4. – С. 92–96.

[3] Ахметов А.Ф., Каратун О.Н. Модифицированные пентасилсодержащие катализаторы для ароматизации углеводородных газов // Химия и технология топлив и масел. - 2001. - № 5. - С. 33–36.

[4] Миначев Х.М., Дергачев А.А. Создание и исследование цеолитных каталитических систем для превращения низкомолекулярных углеводородов в ценные химические продукты // Известия РАН. Сер.хим. – 1998. – № 6. – С. 1071–1080.

[5] Лапидус А.Л., Дергачев А.А., Костина В.А., Силакова А.А. Ароматизация этана на галлийплатиновых цеолитах семейства пентасила // Нефтехимия. - 2008. – Т.48,№2. - С.83–86.

[6] Расулов С.Р., Мустафаева Г.Р., Махмудова Л.А. Перспективные катализаторы ароматизации пропана // Нефтепереработка и нефтехимия. -2012. -№2. -С. 36–41.

[7] Лапидус А.Л., Козлов А.М., Худяков Д.С., Дергачев А.А. Ароматизация пропан-бутановой фракции на модифицированном пентасиле

- // Газохимия. – 2010. – № 6. – С.16-18.
- [8] Мамонов Н.А., Фадеева Е.В., Григорьев Д.А., Михайлов М.Н., Кустов Л.М., Алхимов С.А. Металл-цеолитные катализаторы дегидроароматизации метана // Успехи химии. -2013. -Т. 82. -С. 567-585.
- [9] Ширыязданов Р.Р., Рахимов М.Н., Мансуров И.С. Основные проблемы, особенности и перспективы переработки нефтезаводских газов // Нефтехимия. -2010. -№ 1. -С. 32-35.
- [10] Мустафаева Г.Р., Салимова Н.А., Расулов С.Р. Технология переработки газов каталитического крекинга // Нефтепереработка и нефтехимия. -2012.- № 5. -С. 36-38.
- [11] Туктин Б., Закумбаева Г.Д., Смагулов Р., Токтабаева Н.Ф. Каталитическое превращение сжиженного нефтяного газа в ароматические углеводороды // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2008. – № 6. – С. 35-37.
- [12] Фалькевич Г.С., Ростанин Н.Н, Виленский Л.М., Иняева Г.В., Немира К.Б., Нefeldов Б.К. Новые технологии «САПРнефтехим» переработки углеводородного сырья с использованием цеолитсодержащих катализаторов. Сообщение 1. Переработка попутных нефтяных газов, широких фракций легких углеводородов и отходящих нефтезаводских парафинсодержащих газов в ароматические углеводороды // Катализ в промышленности. -2002. -№ 2. -С. 44-50.
- [13] Ахметов А.Ф., Каратун О.Н. Превращение пропан-бутановой фракции на модифицированных пентасилсодержащих катализаторах // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2000. - №12. – С.28-34.
- [14] Каратун О.Н., Дорогочинский А.З. Использование пропан-пропиленовой фракции процесса каталитического крекинга для получения высокооктановых компонентов автомобильных топлив // Нефтепереработка и нефтехимия. - 1999. - №2. - С. 27-30.
- [15] Лapidус А.Л., Крылова М.В., Маслов И.А., Ментиуков Д.А. Превращения пропилена в присутствии высококремнеземных цеолитов. // Нефтехимия. - 2003. – Т.43, №1. – С.38-41.
- [16] Хасанова Э.И., Назмиева И.Ф., Зиятдинов А.П., Салахов И.И., Копылов А.Ю. Изучение процесса ароматизации пропана на цеолитсодержащем катализаторе с различным отношением Si/Al // Нефтехимия. -2012.- Т. 52, - № 2.- С. 97-103.
- [17] Каратун О.Н. Влияние различных модификаторов на превращение фракции низкомолекулярных углеводородов // Химия и химическая технология. - 1999. – Т.42, вып.2. – С.69-73.
- [16] Восмерилов А.В., Ермаков А.Е., Восмерилов Л.Н., Федшак Т.А., Иванов Г.В. Превращение низших алканов в присутствии наночастиц металлов, нанесенных на цеолитную матрицу // Кинетика и катализ. - 2004. – Т.45, №2. – С.232-236.
- [18] Ахметов А.Ф., Каратун О.Н. Стабильность пентасилсодержащих катализаторов при ароматизации бутановой фракции // Химия и технология топлив и масел. - 2002. - №2. - С. 32-33.
- [19] Козлов А.М., Худяков Д.С., Лapidус А.Л., Дергачев А.А. Ароматизация пропан бутановой фракции на пентасиле, модифицированном солями цинка. // Технология нефти и газа. - 2011. - №1. - С. 7-10.
- [20] Восмерилова Л.Н., Седой В.С., Восмерилов А.В. Ароматизация низших алканов в присутствии наночастиц циркония, нанесенных на цеолитную матрицу // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2007. - №4. - С.20-23.

REFERENCES

- [1] Dergachev A.A, Lapidus A.L. *D.I. Mendeleev Journal of Russ. chem.society*. **2005**, ЛП, 4., 15–21 (in Russ.)
- [2] Echevskii G. Oil-gas technology. **2012**, 4, 92-96. (in Russ.)
- [3] Akhmetov A.F. Karatun O.N. *Himia I tehnologia topliv I masel*, **2001**, 5, 33-36. (in Russ.)
- [4] Minachev Kh. M., Dergachev A.A. *Izvestia RAN*. **1998**, 6, 1071-1080. (in Russ.)
- [5] Lapidus A.L., Dergachev A.A, Kostina A.V., Silakova A.A. *Neftechimia*, **2008**, 48, 2, 83-86. (in Russ.)
- [6] Rasulov S.R., Mustafaeв S.R., Makhmudova L.A. *Neftepererabotka i neftechimia*, **2012**, 2, 36-41. (in Russ.)
- [7] Lapidus A.L., Kozlov A.M., Khudyakov D.S., Dergachev A.A. *Gasochimia*, **2010**, 6, 16-18. (in Russ.)
- [8] Mamonov N.A., Fadeeva E.V., Grigoriev D.A., Mikhailov M.N., Kustov L.M., Alhimov S.A. *Uspehi khimii*, **2013**, 82, 567-585. (in Russ.)
- [9] Shiryazdanov R.R., Rahimov M.N., Mansurov I.S. *Neftechimia*, **2010**, 1, 32-35. (in Russ.)
- [10] Mustafaeva G.R., Salimova N.A., Rasulov S.R. *Neftepererabotka I neftechimia*, **2012**, 5, 36-38. (in Russ.)
- [11] Tuktin B., Zakumbaeva G.D., Smagulov R., Toktabaev N.F. *Netepererabotka I neftechimia*, **2008**, 6, 35-37. (in Russ.)
- [12] Falkeevich G.S., Rostanin N.N., Vilenskii L.M., Inyayeva G.V., Nemira K.B., Nefeldov B.K. *Catalysis in industry*, **2002**, 2, 44-50. (in Russ.)
- [13] Akhmetov A.F. Karatun O.N. *Neftepererabotka i neftechimia*, **2000**, 12, 28-34. (in Russ.)
- [14] Karatun O.N., Dorogochinskii A.Z. *Neftepererabotka i neftechimia*. 1999, 2, 27-30. (in Russ.)
- [15] Lapidus A.L., Krylova M.V., Maslov I.A., Mentiukov D.A.. *Neftechimia*, **2003**, 43, 1, 38-41 (in Russ.)
- [16] Khasnova A.R., Zyadinov A., Salahov I.I., Kopylov A.Iu. *Neftechimia*, **2012**, 52, 2, 97-103. (in Russ.)
- [17] Karatun O.N. *Chemistry and Chemical technology*, **1999**, 42, 69-73. (in Russ.)
- [16] Vosmerikov A.V., Ermakov A.E., Vosmerikova L.N. Fedshak T.A., Ivanov G.V. *Kinetic and catalysis*, **2004**, 45, 2, 232-236. (in Russ.)
- [18] Akhmetov A.F., Karatun O.N. *Chemistry and technology of fuel and oils*, **2002**, 2, 32-33. (in Russ.)
- [19] Kozlov A.M., Khudyakov D.S., Dergachev A.A, Lapidus A.L. *Technology of petroleum and gas*, **2011**, 1, 7-10. (in Russ.)
- [20] Vosmerikova L.N., Sedoi V.S., Vosmerikov A.V. *Neftepererabotka i neftechimia*, **2007**, 4, 20-23. (in Russ.)

Б.Т.Туктин¹, Н.Н.Нұрғалиев¹, Б.М.Бағашарова¹, М.Т.Сулейменова², Р.Х.Тургумбаева²

¹ АО Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан;

² Казахский Национальный Педагогический Университет имени Абая, Алматы, Казахстан

ПЕРЕРАБОТКА ГАЗОВ КРЕКИНГА НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРАХ

Аннотация. Проведены исследования процесса переработки серосодержащих пропан-пропиленовой и бутан-бутиленовой фракций на модифицированных цеолитсодержащих катализаторах КПМ-16, КПМ-19 и КТМ-1. Изучено влияние технологических параметров на конверсию, выход ароматических углеводородов и селективность. Установлено, что при переработке легких углеводородов на этих катализаторах образуются ароматические соединения (бензол, толуол, этилбензол, ксилолы), а в газовой фазе содержатся C₁-C₄ углеводороды. С увеличением температуры от 400 до 600°C конверсия C₄ повышается 100%. Наибольший выход ароматических углеводородов на всех исследованных катализаторах достигает при 550-600°C.

Анализ полученных результатов показывает, что наибольший выход ароматических углеводородов при переработке пропан-пропиленовой фракции наблюдается на катализаторе КПМ-16: максимальное их количество образуется при 550°C и составляет 33,8%.

Состав продуктов переработки бутан-бутиленовой и пропан-пропиленовой фракций показывает, что изученные катализаторы обладают полифункциональными свойствами: образование ароматических углеводородов происходит в одну стадию в результате протекания реакций крекинга, дегидрирования, олигомеризации, дегидроциклизации. Одновременно, в случае переработки серосодержащего сырья, происходит и серочистка.

Ключевые слова: катализатор, ароматические соединения, цеолит, пропан-пропиленовая фракция, бутан-бутиленовая фракция.