

FTAMP 61.51.17

Е.А. Аубакиров¹ – негізгі автор, ©
Б.Т. Кидирбоев², I.L. Simakova³,
М.Р. Рақымжан⁴, Б.Е. Әлібеков⁵, Қ. Амантайұлы⁶



¹Хим. ғылым. д-ры, профессор, ^{2,5}Магистрант, ⁴Студент

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-5405-4125> ²<https://orcid.org/0009-0004-6699-0454>

³<https://orcid.org/0000-0002-5138-4847> ⁶<https://orcid.org/0000-0002-4244-9629>



^{1,2,4,5,6}Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан

³Ресей ғылым академиясы Сібір бөлімшесінің Г.К. Боресков атындағы
катализ институты, Новосибирск, Ресей

@

¹ermek.aubakirov64@gmail.com

<https://doi.org/10.55956/SIMD8398>

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН МОТОР МАЙЛАРЫНЫҢ ПИРОЛИЗИ НӘТИЖЕСİNДЕ ТЕМПЕРАТУРА ӘСЕРІНЕН ТҮЗІЛЕТІН ӨНІМДЕРДІҢ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Бұл зерттеуде пайдаланылған мотор майларын (ПММ) термиялық пиролиздеу барысында температуралық режимнің (380-440°C) түзілетін сұйық өнімдердің топтық көмірсутектік құрамына әсері қарастырылды. Тәжірибелер 0,5 МПа азот қысымында, автоклавтық реакторда 40 минут бойы үздіксіз араластырумен (150 грм) жүргізілді. Алынған сұйық өнімдер айдау арқылы нафта (30–180 °C), керосин (180-260°C) және газойль (260-350°C) фракцияларына бөлініп, олардың құрамы GC-FID («Хромос GX-1000») әдісімен талданды. Нәтижелер көрсеткендей, температура 380°C-тан 440°C-қа дейін артқанда, нафта фракциясындағы парафиндер мөлшерін 14%-дан 20%-ға дейін, ал нафтендерді 10%-дан 17%-ға дейін арттырды. Сонымен қатар ароматты көмірсутектердің үлесі 42%-дан 32%-ға, ал олефиндер 16%-дан 10%-ға дейін төмендеді. Ұқсас заңдылықтар керосин және газойль фракцияларында да байқалып, жалпы парафиндік көмірсутектер мөлшері 10-11%-ға артқаны анықталды. Бұл температураның жоғарылауы термиялық ыдырау реакцияларын тереңдетіп, өнім құрамында тұрақты қаныққан құрылымдардың жинақталуына ықпал етеді, алынған фракциялық сұйық өнімдерді дизельдік отын компоненттері және жеңіл дистилляттар ретінде тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: пайдаланылған мотор майы, термиялық пиролиз, температуралық режим, топтық көмірсутектік құрам, нафта, дизельдік отын.



Аубакиров, Е.А. Пайдаланылған мотор майларының пиролизі нәтижесінде температура әсерінен түзілетін өнімдердің құрамын зерттеу [Мәтін] / Е.А. Аубакиров, Б.Т. Кидирбоев, I.L. Simakova, М.Р. Рақымжан, Б.Е. Әлібеков, Қ. Амантайұлы // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.433-441. <https://doi.org/10.55956/SIMD8398>

Кіріспе. Қазіргі қоғамның технологиялық дамуы мен халық санының өсуі энергия ресурстарына деген сұраныстың артуына және соған сәйкес қоршаған ортаға түсетін техногендік жүктеменің күшеюіне алып келді [1,2]. Осы тұрғыда пайдаланылған мотор майлары (ПММ) ең ірі қауіпті

қалдықтардың бірі болып табылады [1-4]. Статистикалық мәліметтерге сүйенсек, әлемде жыл сайын шамамен 24 – 40 миллион тонна пайдаланылған май түзіледі, бірақ оның тек 40% -ы ғана ресми түрде қайта өңдеуден өтеді [5,6]. ПММ – ны қоршаған ортаға бақылаусыз тастау экожүйелерге түзетілмейтін зиян келтіреді: 1 литр пайдаланылған май 1 миллион литр ауыз суын жарамсыз етуі мүмкін [1,7,8]. Бұл қалдықтар су бетінде қабықша түзіп, оттегінің еруін тежейді және судың химиялық оттегі қажеттілігін (COD) арттырады [1,8].

Мотор майларының құрамы негізінен негіздік майдан (80-90%, C₁₅-C₅₀ көмірсутектері) және пайдалану барысында тотығатын немесе ыдырайтын химиялық қоспалардан (10-20%) тұрады [9,10]. ПММ құрамында қозғалтқыштың тозуынан пайда болатын ауыр металдар (Fe, Cu, Pb, Zn), сондай ақ мутагенді және канцерогенді қасиеттері бар полициклді хош иісті көмірсутектер мен полихлорланған бифенилдер жинақталады [3,4,9]. Осы факторлар ПММ-ны жай ғана кәдеге жаратуды емес, оны терең технологиялық өңдеуді талап етеді.

Қазіргі уақытта ПММ-ны басқарудың бірнеше әдісі қолданылады: регенерация (еріткішпен экстракциялау, адсорбция), инсинерация (жағу) және газдандыру [4,10,11]. Алайда жағу процесі атмосфераға улы газдар мен ауыр металдардың бөлінуіне әкелсе, регенерация әдістері қымбат және күрделі технологиялық сатыларды қажет етеді [2,4]. Пиролиз әдісі ПММ-ны жоғары сапалы энергетикалық ресурсқа айналдырудың ең тиімді бағыты ретінде қарастырылады [3,8]. Пиролиз оттегісіз ортада термиялық ыдырау арқылы бір мезгілде үш түрлі өнім – сұйық отын (пиролиз майы), синтез-газ және көміртекті қатты қалдық алуға мүмкіндік береді [1,3,12]. Пиролиз майының жылулық құндылығы жоғары (шамамен 40МДж/кг) және оны дизельдік отынның баламасы ретінде пайдалану аясы кең [8,9].

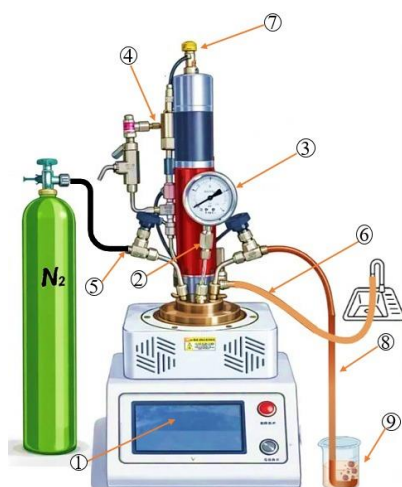
Пиролиз процесінің тиімділігі мен алынатын өнімдер сапасы негізінен температуралық режимге байланысты. Төмен температурада процестің жылдамдығы баяу болып, ауыр фракциялар басым болса, жоғары температурада екінші реттік пиролиз реакциялары күшейіп, газ шығымы артады [8,13,14]. Дегенмен, әдебиеттерге талдау көрсеткендей, ПММ пиролизі кезінде температураның көмірсутектердің тізбек ұзындығына (carbon chain length) және фракциялық құрамына әсерін нақты сандық - сапалық тұрғыдан салыстыру әлі де толық зерттелмеген [1,5]. Осы саладағы зерттеулердің жеткіліксіздігі ПММ-ын қайта өңдеудің оңтайлы температуралық режимін анықтауды қиындатады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. *Материал.* Зерттеуде шикізат ретіне пайдаланылған қалдық мотор майы Алматы қаласындағы Car City аумағында орналасқан май ауыстыру автосервисінен алынды. Үлгілер пайдаланылған майлар жинақталған сақтау баррелінен алынғандықтан, олар әртүрлі маркалар мен құрамдағы мотор майларының гетерогенді қоспасы болып табылады. Зерттеу барысында қосымша реагенттер, еріткіштер немесе катализаторлар қолданылған жоқ. Қалдық мотор майы алдын ала өңдеусіз және қосымша тазартусыз пайдаланылды.

Сипаттау әдістері. Пиролиз нәтижесінде алынған өнімдердің құрамы мен қасиеттерін анықтау үшін газды хроматография әдісі қолданылды. Анализ ГОСТ 32507 әдісіне сәйкес жүргізілді. Алынған сұйық фракциялардың көмірсутектік құрамы жалын – ионизациялық детектормен (GC-FID) жабықталған «Хромос GX-1000» газды хроматографында анықталды.

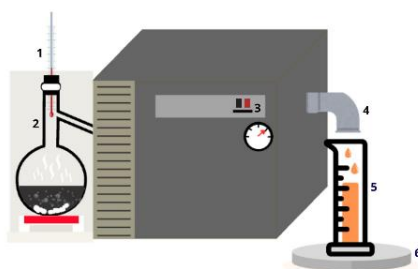
Пиролиз процесі. Пиролиз процесі зертханалық жағдайда инертті азот атмосферасында жоғары қысымды автоклавтық реакторда жүргізілді (1-сурет). Реакторға әрбір тәжірибе үшін 30 мл қалдық мотор майы жүктеліп, процесс 0,5 МПа азот қысымында 380, 400, 420 және 440°C температураларда іске асырылды. Жүйе 150 грт жылдамдықпен үздіксіз араластырылып, реакция уақыты тандалған температурада 40 минутты құрады. Пиролиз нәтижесінде түзілген сұйық өнім кейін айдау әдісімен фракцияларға бөлінді.

Дистилляция барысында үш негізгі фракция бөлініп алынды: 30-180°C – нафта, 180-260°C – керосин, 260-350°C – газойль (2-сурет). Алынған фракциялар құрамдық және физика-химиялық қасиеттерін анықтау мақсатында кейінгі талдауға жіберілді.



1 – қыздыру және араластыру процестерін басқару блогы; 2 – реактордың фланецті корпусы; 3 – қысымды бақылауға арналған манометр; 4 – артық қысымнан қорғайтын жарылғыш мембрана; 5 – газды енгізу клапаны; 6 – салқындату желісі; 7 – температураны өлшеуге арналған термопара; 8 – газды шығару клапаны; 9 – қабылдағыш ыдыс (газ жинағыш).

Сурет 1. Пиролиз процесін жүргізуге арналған зертханалық автоклавтық қондырғы



1 – термометр; 2 – энглер колба; 3 – басқару панелі; 4 – конденсатор ұшы; 5 – өлшеуіш цилиндр; 6 – тірек (штатив).

Сурет 2. Пиролизден кейін алынған сұйық өнімді дистилляциялау арқылы негізгі фракцияларға бөлу сызбасы

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Нафта фракциясында (30-180°C) температура 380°C-тан 440°C-қа дейін артқанда парафиндер мөлшері 14%-дан 20%-ға дейін (+6%), изопарафиндер 8%-дан 14%-ға дейін (+6%), ал жалпы парафиндік көмірсутектер 22%-дан 34%-ға дейін (+12%) өсті. Сонымен қатар нафтендер 10%-дан 17%-ға дейін (+7%) артты. Керісінше, ароматты көмірсутектердің үлесі 42%-дан 32%-ға дейін (-10%), ал олефиндер 16%-дан 10%-ға дейін (-6%) төмендеді. Бұл температура жоғарылаған сайын нафта фракциясында қаныққан және тұрақты көмірсутектердің үлесі артып, ароматты және қанықпаған қосылыстардың мөлшері азаятынын көрсетеді.

Нафта фракциясындағы температуралық өзгерістер әдеби деректермен сәйкес келеді. Пиролиз кезінде температура өнімнің шығымы мен құрамына әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады [8]. 380-440°C аралығында парафиндер мен изопарафиндердің артуы қаныққан көмірсутектердің түзілуінің күшеюімен түсіндіріледі, өйткені ПММ-ның пиролизі бойынша еңбектерде 350-400°C аралығында қаныққан көмірсутектер мөлшерінің жоғарылайтыны көрсетілген [15]. Сонымен қатар ПММ-ның пиролизі кезінде сұйық өнімнің C5-C11 және C12-C25 диапазонындағы көмірсутектерден тұратыны анықталған, бұл жеңіл және орта дистилляттардың түзілуін дәлелдейді. Ароматикалардың сақталуы да заңды, себебі қолданылған мотор майларының пиролизі кезінде сұйық фазалардың, соның ішінде нафталин, фенантрен және пиреннің басым жиналатыны зерттелінген [17]. Сондықтан нафта фракциясындағы парафиндік көмірсутектердің артуы мен ароматикалардың салыстырмалы төмендеуі температура өскен сайын термиялық ыдырау мен өнім құрамының қайта таралуымен түсіндіріледі.

Кесте 1

30-180°C аралығында нафта фракциясының топтық көмірсутектік құрамының өзгеруі

Көрсеткіш	380°C	400°C	420°C	440°C
Парафиндер (%)	14	16	18	20
Изопарафиндер (%)	8	10	12	14
Жалпы парафиндік көмірсутектер (%)	22	26	30	34
Нафтендер (%)	10	12	15	17
Ароматикалар (%)	42	39	35	32
Олефиндер (%)	16	14	12	10
Оксигенаттар (%)	3	2	2	2
Идентификацияланбағандар (%)	7	7	6	5

Кесте 2

180-260°C аралығында керосин фракциясының топтық көмірсутектік құрамының өзгеруі

Көрсеткіш	380°C	400°C	420°C	440°C
Парафиндер (%)	18	20	22	24
Изопарафиндер (%)	10	12	14	15
Жалпы парафиндік көмірсутектер (%)	28	32	36	39
Нафтендер (%)	16	18	20	21
Ароматикалар (%)	34	31	28	25
Олефиндер (%)	10	9	8	7
Оксигенаттар (%)	2	2	2	2
Идентификацияланбағандар (%)	10	8	6	6

Температура 380-ден 440°C-қа дейін артқан сайын керосин фракциясында (180-260 °C) да ұқсас үрдіс байқалды, жалпы парафиндік көмірсутектер мөлшері 28%-дан 39%-ға дейін (+11%) өсіп, нафтендер 16%-дан 21%-ға дейін (+5%) артты. Ал ароматты қосылыстар 34%-дан 25%-ға дейін (-9%), олефиндер 10%-дан 7%-ға дейін (-3%) төмендеді. Бұл температура жоғарылаған сайын керосин фракциясында қаныққан және тұрақты көмірсутектердің үлесі артатынын көрсетеді. Мұндай үрдіс қолданылған мотор майынан дизель тәрізді отын алуға болатынын дистилляция зерттеулерінде анықталса [18], ал каталитикалық пиролиз арқылы да дизель тәрізді отын алынатынын көрсеткен [19].

Кесте 3

260-350°C аралығында газойль фракциясының топтық көмірсутектік құрамының өзгеруі

Көрсеткіш	380°C	400°C	420°C	440°C
Парафиндер (%)	22	24	26	28
Изопарафиндер (%)	12	14	16	17
Жалпы парафиндік көмірсутектер (%)	34	38	42	45
Нафтендер (%)	20	22	24	25
Ароматикалар (%)	26	24	22	20
Олефиндер (%)	6	5	4	3
Оксигенаттар (%)	2	2	2	2
Идентификацияланбағандар (%)	12	9	6	5

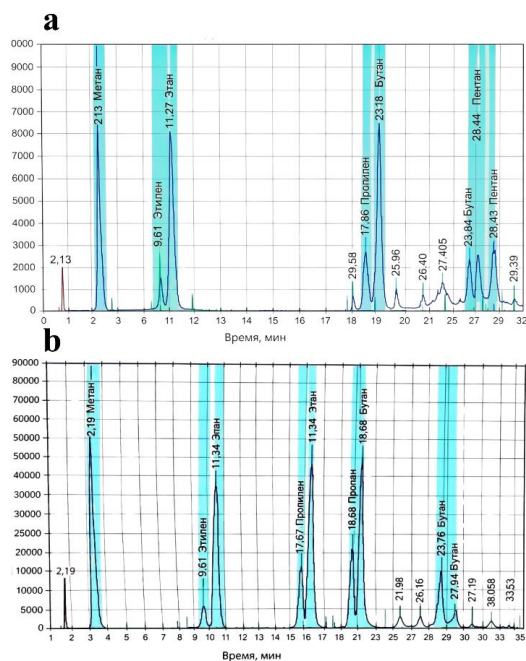
Температура 380-ден 440°C-қа дейін артқан сайын газойль фракциясында Газойль фракциясында (260-350°C) жалпы парафиндік көмірсутектер 34%-дан 45%-ға дейін (+11%) өсіп, нафтендер 20%-дан 25%-ға дейін (+5%) артты, ал ароматикалар 26%-дан 20%-ға дейін (-6%) және олефиндер 6%-дан 3%-ға дейін (-3%) азайды. Бұл температура жоғарылаған сайын газойль фракциясында қаныққан және тұрақты ауыр көмірсутектердің үлесі артып, қанықпаған және ароматты қосылыстардың үлесі азаятынын көрсетеді. Мұндай үрдіс қолданылған мотор майларынан дизель отындары алынатынын көрсеткен зерттеулермен [18,19], сондай-ақ екі сатылы пиролиз арқылы дизельге ұқсас отын алынатынын дәлелдеген деректермен сәйкес келеді [20].

Осылайша, 380-440°C температура аралығы пиролиз процесі үшін оңтайлы режим ретінде анықталды. Бұл диапазонда қаныққан көмірсутектердің жиынтық үлесі барлық фракцияларда орта есеппен 10-12%-ға артып, ал ароматты және қанықпаған қосылыстардың мөлшері 6-10%-ға төмендейтіні анықталды. Мұндай өзгерістер жоғары температурада β -үзілу, радикалдардың рекомбинациясы және сутек тасымалдану реакцияларының қарқынды жүруімен байланысты.

Алынған нәтижелердің практикалық маңызы жоғары. Қаныққан көмірсутектердің (әсіресе парафиндер мен изопарафиндердің) артуы отынның жану тұрақтылығын және цетан санын жоғарылатады, ал ароматты көмірсутектер мен олефиндердің азаюы түтін түзілуін және улы шығарындыларды төмендетуге ықпал етеді. Осыған байланысты, нафта фракциясын бензин компоненті ретінде, ал керосин және газойль фракцияларын дизельдік отын құрамына қоспа ретінде қолдануға болады. Сонымен қатар, алынған фракцияларды өнеркәсіптік деңгейде пайдалану алдында олардың физика-химиялық қасиеттерін (тұтқырлық, тығыздық,

күкірт мөлшері) стандарт талаптарына сәйкестендіру үшін қосымша гидротазалау процестерін жүргізу ұсынылады.

Қалдық мотор майының пиролиз өнімдерін газ-хроматографиялық талдау. Қалдық мотор майынан 420°C және 440°C температураларда алынған пиролиз өнімдерінің газ-хроматографиялық талдауы өнім құрамының температураға айқын тәуелді екенін көрсетті. 420°C температурада хроматограммада метан (2,13 мин), этилен (9,61 мин), этан (11,27 мин), пропилен (17,86 мин), бутан (23,18 мин) және пентан (28,44 мин) сияқты жеңіл көмірсутектер басым болды, бұл жағдайда бастапқы термиялық ыдырау реакцияларының басым жүретінін көрсетеді. Әсіресе этилен мен пропиленнің айқын шыңдары ұзын тізбекті көмірсутектердің β -үзілу механизмі арқылы ыдырайтынын дәлелдейді, бұл қалдық майлардың пиролизі бойынша әдебиеттердегі мәліметтермен жақсы сәйкес келеді [21,22]. Ал температураны 440°C-қа арттырғанда метан (2,19 мин), этан (11,34 мин), пропилен (17,67 мин), пропан (18,68 мин) және бутан (23,76 мин) шыңдарының интенсивтілігі едәуір артып, 20-35 мин аралығында қосымша компоненттердің пайда болуы байқалады. Бұл жоғары температурада екіншілік cracking және радикалдардың рекомбинация реакцияларының күшейетінін көрсетеді, яғни бастапқы өнімдер әрі қарай ыдырап, бір жағынан төмен молекулалы қосылыстар түзсе, екінші жағынан ауыр көмірсутектер (C5+) қайта түзіледі. Сонымен қатар, пропанның түзілуі сутек тасымалдану реакцияларының жүргенін көрсетеді, нәтижесінде қанықпаған аралық өнімдер тұрақтанады. Мұндай заңдылықтар әдебиеттерде кеңінен сипатталған, яғни температураның артуы радикалдық реакцияларды күшейтіп, көмірсутектердің әрі ыдырауына және қайта құрылуына алып келеді [23,24]. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер температураның қалдық мотор майын термохимиялық өңдеу кезінде реакция жолдары мен өнім құрамын анықтайтын негізгі фактор екенін дәлелдейді.



Сурет 3. Қалдық мотор майының пиролиз өнімдерінің газ-хроматограммалары: (а) 420°C және (б) 440°C

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу жұмысының нәтижелері көрсеткендей, пайдаланылған мотор майларын термиялық пиролиздеу барысында температуралық режим (380-440°C) түзілетін өнімдердің топтық көмірсутектік құрамы мен сапасын анықтайтын негізгі фактор болып табылады. Температура 380°C-тан 440°C-қа дейін артқан сайын, барлық алынған фракцияларда (нафта, керосин және газойль) парафиндік және нафтендік көмірсутектердің жиынтық үлесінің тұрақты өсуі байқалды; мәселен, нафта фракциясында парафиндер мөлшері 20%-ға, ал газойльде 28%-ға дейін жетті. Бұл құбылыс жоғары температурада екіншілік кракинг пен радикалдардың рекомбинация реакцияларының күшеюімен, сондай-ақ сутек тасымалдану механизмі арқылы қанықпаған аралық өнімдердің тұрақтанып, өнім құрамында химиялық тұрақты қаныққан құрылымдардың жинақталуымен түсіндіріледі. Сонымен қатар, температураның жоғарылауы өнім құрамындағы ароматты көмірсутектер мен олефиндердің үлесін едәуір төмендетіп, алынған сұйық фракциялардың сапасын жақсартады. Қорытындылай келе 380-440°C температура диапазоны пайдаланылған мотор майларын пиролиздеу үшін оңтайлы режим ретінде ұсынылады, себебі бұл жағдайда қаныққан көмірсутектердің үлесі 10-12%-ға артып, ароматты және қанықпаған қосылыстар 6-10%-ға төмендейді. Бұл алынған фракцияларды дизельдік отынға қоспа ретінде және баламалы сұйық отын көзі ретінде тиімді қолдануға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Pereira L.B., et al. Environmental impacts related to drilling fluid waste and treatment methods: A critical review // *Fuel*. – 2022. – Vol. 310. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122301>.
2. Vargas D. C., et al. Kinetic Study of the Thermal and Catalytic Cracking of Waste Motor Oil to Diesel-like Fuels // *Energy and Fuels*. – 2016. – Vol. 30. – No. 11. – P. 9712-9720. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b01868>.
3. Mishra A., et al. Extensive thermogravimetric and thermo-kinetic study of waste motor oil based on iso-conversional methods // *Energy Conversion and Management*. – 2020. – Vol. 221. – P. 113194. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113194>.
4. Moses K. K., et al. Recycling of waste lubricating oil: A review of the recycling technologies with a focus on catalytic cracking, techno-economic and life cycle assessments // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2023. – Vol. 11. – No. 6. – P. 111273. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111273>.
5. Tripathi A. K., Ojha D. K., Vinu R. Selective Production of Valuable Hydrocarbons from Waste Motorbike Engine Oils via Catalytic Fast Pyrolysis using Zeolites // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. – 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.06.009>.
6. Shiung S., et al. Environmental Catalytic microwave pyrolysis of waste engine oil using metallic pyrolysis char // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2015. – Vol. 176-177. – P. 601-617. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.04.014>.
7. Li H., et al. Study on waste engine oil and waste cooking oil on performance improvement of aged asphalt and application in reclaimed asphalt mixture // *Construction and Building Materials*. – 2021. – Vol. 276. – P. 122138. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122138>.
8. Mishra A., et al. Pyrolysis of waste lubricating oil/waste motor oil to generate high-grade fuel oil: A comprehensive review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2021. – Vol. 150, January. – P. 111446. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111446>.
9. Botas J. A., et al. Recycling of used lubricating oil: Evaluation of environmental and energy performance by LCA // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2017. – Vol. 125, July. – P. 315-323. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.010>.

10. Pinheiro C. T., Quina M. J., Gando-Ferreira L. M. Management of waste lubricant oil in Europe: A circular economy approach // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. – 2021. – Vol. 51. – No. 18. – P. 2015-2050. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1771887>.
11. Khan A. H., Batool N., Aziz A. Recovery of Base Oil from Used Oil through Solvent Extraction Followed by Adsorption: A Review // *Environmental Protection Research*. – 2023. – Vol. 3. – No. 2. – P. 319-340. <https://doi.org/10.37256/epr.3220232592>.
12. Lam S. S., et al. Microwave Pyrolysis with Steam Activation in Producing Activated Carbon for Removal of Herbicides in Agricultural Surface Water // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2019. – Vol. 58. – No. 2. – P. 695-703. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b03319>.
13. Onay O., Kockar O. M. Slow, fast and flash pyrolysis of rapeseed // *Renewable Energy*. – 2003. – Vol. 28. – No. 15. – P. 2417-2433. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00137-X](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00137-X).
14. Liu W., et al. Selectively Improving the Bio-Oil Quality by Catalytic Fast Pyrolysis of Heavy-Metal-Polluted Biomass: Take Copper (Cu) as an Example. – 2012. – <https://doi.org/10.1021/es204681y>.
15. Santhoshkumar A., Ramanathan A. Recycling of waste engine oil through pyrolysis process for the production of diesel like fuel and its uses in diesel engine // *Energy*. – 2020. – Vol. 197. – P. 117240. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117240>.
16. Kim S. S., Kim S. H. Pyrolysis kinetics of waste automobile lubricating oil // *Fuel*. – 2000. – Vol. 79. – No. 15. – P. 1943-1949. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(00\)00028-4](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(00)00028-4).
17. Xu L., et al. Upgrading and PAHs formation during used lubricant oil pyrolysis at different heating modes // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. – 2023. – Vol. 169, November 2022. – P. 105813. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105813>.
18. Arpa O., Yumrutas R., Demirbas A. Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolytic distillation // *Applied Energy*. – 2010. – Vol. 87. – No. 1. – P. 122-127. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.05.042>.
19. Khan R., et al. Production of diesel-like fuel from spent engine oil by catalytic pyrolysis over natural magnetite // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. – 2016. – Vol. 120. – P. 493-500. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.06.022>.
20. EL-Seesy A. I., El-Zoheiry R. M., Ali M. I. H. Recycling of waste lubricant oil using two-step pyrolysis to produce fuel-like diesel and enhancing its combustion and emission parameters in diesel engines using linseed biodiesel // *Energy Conversion and Management X*. – 2025. – Vol. 26, November 2024. – P. 100924. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100924>.
21. Anuar Sharuddin S. D., et al. A review on pyrolysis of plastic wastes // *Energy Conversion and Management*. – 2016. – Vol. 115. – P. 308-326. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>.
22. Miandad R., et al. Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2016. – Vol. 102. – P. 822-838. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.06.022>.
23. Mishra A., et al. Pyrolysis of waste lubricating oil/waste motor oil to generate high-grade fuel oil: A comprehensive review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2021. – Vol. 150, July. – P. 111446. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111446>.
24. Wang S., et al. Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: A state-of-the-art review // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2017. – Vol. 62. – P. 33-86. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.05.004>.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған BR28713351 «Құрамында көміртегі бар қалдықтарды энергия ресурстарына және сұранысқа ие өнімдерге кешенді өңдеу үшін жоғары тиімді каталитикалық технологияны әзірлеу» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 12.02.26 түсті, 27.03.26 қабылданды.

Е.А. Аубакиров¹, Б.Т. Кидирбоев¹, I.L. Simakova²,
М.Р. Рақымжан¹, Б.Е. Әлібеков¹, Қ. Амантайұлы¹

¹Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ПРОДУКТОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПИРОЛИЗЕ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ

Аннотация. В данном исследовании рассмотрено влияние температурного режима (380-440°C) на групповой углеводородный состав жидких продуктов, образующихся при термическом пиролизе отработанных моторных масел (ОММ). Эксперименты проводились в автоклавном реакторе при давлении азота 0,5 МПа в течение 40 минут при непрерывном перемешивании (150 об/мин). Полученные жидкие продукты разделяли методом перегонки на фракции: нефтя (30-180°C), керосин (180-260°C) и газойль (260-350°C), после чего их состав анализировали методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором (GC-FID, «Хромос GX-1000»). Результаты показали, что при повышении температуры с 380 до 440°C содержание парафинов в нефтяной фракции увеличивается с 14% до 20%, а нафтенов - с 10% до 17%. При этом доля ароматических углеводородов снижается с 42% до 32%, а олефинов - с 16% до 10%. Аналогичные закономерности наблюдаются и для керосиновой и газойлевой фракций, где общее содержание парафиновых углеводородов возрастает на 10-11%. Установлено, что повышение температуры способствует углублению термических реакций разложения и накоплению стабильных насыщенных структур в составе продуктов, что обеспечивает возможность эффективного использования полученных жидких фракций в качестве компонентов дизельного топлива и лёгких дистиллятов.

Ключевые слова: отработанное моторное масло, термический пиролиз, температурный режим, групповой углеводородный состав, нефтя, дизельное топливо.

Y.A. Aubakirov¹, B.T. Kidirboev¹, I.L. Simakova²,
M.R. Rakhymzhan¹, B. Alibekov¹, K. Amantaiuly¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Boriskov Institute of Catalysis, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia

STUDY ON THE COMPOSITION OF PRODUCTS FORMED DURING THE PYROLYSIS OF WASTE MOTOR OILS UNDER THE INFLUENCE OF TEMPERATURE

Abstract. This study investigates the effect of temperature (380-440°C) on the group hydrocarbon composition of liquid products obtained during the thermal pyrolysis of waste motor oils (WMO). The experiments were carried out in an autoclave reactor under a nitrogen pressure of 0.5 MPa for 40 minutes with continuous stirring at 150 rpm. The resulting liquid products were separated by distillation into naphtha (30-180°C), kerosene (180-260°C), and gas oil (260-350°C) fractions, and their composition was analyzed using gas chromatography with a flame ionization detector (GC-FID, "Chromos GX-1000"). The results indicate that increasing the temperature from 380 to 440 °C leads to an increase in paraffin content in the naphtha fraction from 14% to 20% and naphthenes from 10% to 17%. Meanwhile, the proportion of aromatic hydrocarbons decreases from 42% to 32%, and olefins from 16% to 10%. Similar trends are observed for kerosene and gas oil fractions, where the total paraffinic hydrocarbon content increases by 10-11%. It is established that higher temperatures promote deeper thermal decomposition reactions and the formation of more stable saturated structures, enabling the effective utilization of the obtained liquid fractions as components of diesel fuel and light distillates.

Keywords: waste motor oil, thermal pyrolysis, temperature regime, group hydrocarbon composition, naphtha, diesel fuel.