ҒТАМР 61.53.99 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1186**

ТӨМЕН СҰРЫПТЫ КӨМІРДІҢ ТҰТҚЫРЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ МҰНАЙМЕН БІРІККЕН ПИРОЛИЗІНІҢ СИНЕРГИЯСЫ

[1,2]Н.У.Нургалиев✉, [1,2]Е.К. Айбульдинов✉, [1]Ж.Б. Искаков✉, [3]А. Колпек, [3]Ж.Г Берденов, [3]А.С. Сабитов, [3]Э.Е. Копишев, [1,3]Т.Т. Машан, [1,3]Л.А. Кусепова, [1,4]Г.Г. Абдиюсупов

[1]Жаңа химиялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Қ.Құлажанов атындағы технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3] Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[4]CCS Services - Central Asia, Алматы, Қазақстан
✉*Корреспондент-автор: nurgaliev_nao@mail.ru, elaman_@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru.*

Бұл жұмыста төмен сұрыпты көмірдің тұтқырлығы жоғары мұнаймен біріккен пиролизі көмір және мұнайдың әртүрлі қатынасында зерттелді. Тәжірибе нәтижелері көрсеткендей, мұнай қоспалары 20-дан 80 %-ға дейін шайыр мен газдың шығымдылығын сәйкесінше 50,69 %-ға және 10,39 %-ға айтарлықтай арттыруға, ал жартылай кокс шығымы 61,08 %-ға айтарлықтай төмендеген. Сонымен қатар, мұнай қоспалары DTG спектрлерінде 2-ші (шамамен 507-443°C) және 3-ші (шамамен 713-666°C) кезеңдерінде салмақ жоғалтудың максималды шыңдарының температураның айтарлықтай төмендеуіне әкелді, бұл кезеңде сәйкес ыдырау шыңдарының қарқындылығы айтарлықтай жоғарылады. Сопиролиз бойынша тәжірибелік және теориялық мәліметтерді салыстырмалы талдау майдың 80 % қосылғанда айтарлықтай оң синергетикалық әсердің байқалатынын, ал 20-60 % мұнайды қосқанда теріс синергиялық әсердің болғанын көрсетті. Бұл факт сондай-ақ TG-DTG-DSC термиялық талдауының нәтижелерімен және эксперименттік және теориялық TG және DTG спектрлерінің салыстырмалы талдауымен расталды, бұл сынаманың ең үлкен салмақ жоғалтуы мен салмақ жоғалту жылдамдығы осы май қосылған кезде байқалды.

Түйін сөздер: сопиролиз; төмен сұрыпты көмір; тұтқырлығы жоғары мұнай; синергетикалық әсер; пиролиз шайыры; газ; қатты қалдық; TG-DTG-DSC талдауы

СИНЕРГИЯ СОВМЕСТНОГО ПИРОЛИЗА НИЗКОСОРТНОГО УГЛЯ И ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ

[1,2]Н.У.Нургалиев✉, [1,2]Е.К. Айбульдинов✉, [1]Ж.Б. Искаков✉, [3]А. Колпек, [3]Ж.Г Берденов, [3]А.С. Сабитов, [3]Э.Е. Копишев, [1,3]Т.Т. Машан, [1,3]Л.А. Кусепова, [1,4]Г.Г. Абдиюсупов

[1]Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3] Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[4]CCS Services - Central Asia, Алматы, Казахстан,
e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru, elaman_@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru.

В данной статье проведено исследование совместного пиролиза низкосортного угля с высоковязкой нефтью при различных соотношениях угля и нефти. Результаты экспериментов показали, что добавки нефти от 20 до 80% приводят к существенному повышению выхода смолы и газа соответственно на 50.69% и на 10.39% и значительному снижению выхода полукокса на 61.08%. Более того, добавки нефти приводили к заметному снижению температур пиков максимальной потери веса на 2-й (около 507-443°C) и 3-й (около 713-666°C) стадиях на спектрах DTG с существенным увеличением интенсивности соответствующих пиков разложения на этих стадиях. Сравнительный анализ экспериментальных и теоретических данных по совместному пиролизу показал, что при добавке нефти 80% наблюдался существенный положительный синергетический эффект, в то время как добавки 20-60% нефти приводили к отрицательному синергетическому эффекту. Этот факт

подтвердили также результаты термического анализа TG-DTG-DSC и сравнительный анализ экспериментальных и теоретических спектров TG и DTG, которые показали, что при данной добавке нефти наблюдаются наибольшие потери веса и скорости потери веса образца.

Ключевые слова: сопиролиз; низкосортный уголь; высоковязкая нефть; синергетический эффект; пиролизная смола; газ; твердый остаток; TG-DTG-DSC анализ

SYNERGY OF COMBINED PYROLYSIS OF LOW-GRADE COAL AND HIGH-VISCOSITY OIL

[1,2]N.U. Nurgaliyev✉, [1,2]Ye.K. Aibuldinov✉, [1]Zh.B. Iskakova✉, [3]A. Kolpek, [3]Zh.G. Berdenov, [3]A.S. Sabitov, [3]E.Ye. Kopishev, [1,3]T.T. Mashan, [1,3]L.A. Kusepova, [1,4]G.G. Abdiyussupov

[1]Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[3]Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[4]CCS Services – Central Asia, Almaty, Kazakhstan
e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru, elaman_@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru.

In this paper, the co-pyrolysis of low-grade coal with high-viscosity oil was investigated at different coal-to-oil ratios. The experimental results showed that the oil additions from 20 to 80% resulted in a significant increase in the tar and gas yields by 50.69% and 10.39%, respectively, and a significant decrease in the semi-coke yield by 61.08%. Moreover, the oil additions resulted in a noticeable decrease in the peak temperatures of maximum weight loss at the 2nd (about 507-443°C) and 3rd (about 713-666°C) stages in the DTG spectra with a significant increase in the intensity of the corresponding decomposition peaks at these stages. A comparative analysis of the experimental and theoretical data on co-pyrolysis showed that a significant positive synergistic effect was observed at the oil addition of 80%, while the additions of 20-60% oil resulted in a negative synergistic effect. This fact was also confirmed by the results of TG-DTG-DSC thermal analysis and a comparative analysis of the experimental and theoretical TG and DTG spectra, which showed that with this oil additive, the greatest weight loss and rate of weight loss of the sample are observed.

Keywords: co-pyrolysis; low-grade coal; high-viscosity oil; synergistic effect; pyrolysis resin; gas; solid residue; TG-DTG-DSC analysis

Кіріспе. Қазақстанның көмір өнеркәсібі ел экономикасының ірі салаларының бірі болып табылады. Статистикаға сәйкес [1] 2020 жылғы мәлімет бойынша Қазақстан көмір қоры бойынша әлемде 10-шы орында. Бұл ретте маңызды мәселе төмен сұрыпты көмірді (ТСК) практикада қолдану болып табылады, оның жағымсыз сипаттамаларына байланысты тек қолдану мүмкіндігі шектеулі. Төмен сұрыпты көмірлер (әдетте қоңыр көмірлер немесе суббитумды көмірлер) ылғалдың және/немесе күлдің жоғары болуына, сондай-ақ зиянды заттардың шығарындыларының жоғарылауына байланысты меншікті энергиясы төмен, бірақ электр энергиясына сұранысты өсуі жағдайында байланысты оларды пайдалану қажеттілігі артуда [2]. Алайда, мұндай көмірді тікелей пайдалану не шығарындыларды азайту қажетті шығынды арттырады, не электр станцияларының тиімділігін төмендетеді, яғни парниктік газдар шығарындыларын арттырады. Көміртегі шығарындыларын бақылаудың қазіргі жағдайларында ылғал, күл және/немесе басқа микроэлементтер бойынша төмен сұрыпты көмірлердің сипаттамаларын жақсарту маңызды [2].

ТСК пиролизі шайыр мен газды таза және тиімді өндіруді жүзеге асырудың оңтайлы әдісі болып саналады [3]. Көмірден алынатын бағалы өнімдердің ішінде шайыр пиролиздің негізгі өнімі болып табылады және олефиндер [4,5], қосылған құны бар ароматты қосылыстар [6] және көмір шайыры негізіндегі материалдар [4] алу үшін маңызды шикізат ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Пиролиз процесінің тиімділігін арттыру және басқа да әртүрлі қалдықтарды бір мезгілде тарту

мақсатында дүние жүзінің көптеген ғалымдары көмірдің және биомасса, көмірдің тікелей сұйылту қалдықтары, мұнай тақтатастары, полимер қалдықтары және басқа органикалық материалдар сияқты қоспалардың сопиролизі бойынша зерттеулер жүргізіп келеді [7-30]. Зерттеу негізінен пиролиз өнімдерінің шығымдылығы мен сапасын оңтайландыруға және пиролиз кезіндегі синергетикалық әсерді есепке алуға бағытталған. Сонымен бірге сопиролиз кезінде шикізаттың әртүрлі сипаттамалары үлгілер мен өнімдердің реактивтілігі мен жылулық қасиеттерін өзгерте алады, ал синергетикалық әсер нәтижесінде алынған өнімнің сапасын жақсарта алады [7]. Сонымен қатар, төмен сұрыпты көмірдің әртүрлі шикізат түрлерімен бірге пиролизі көмірдің конверсия жылдамдығын және пайдалану коэффициентін жақсарта алады [31]. Сондай-ақ, копиролиз бірте-бірте шайырдың шығымдылығын арттыру үшін ғана емес, сонымен қатар NOX, SOX және ұшқыш органикалық қосылыстардың шығарындыларын азайту үшін де пайдалы бола бастады [32].

Төменгі сұрыпты көмір мен биомассаның сопиролизінің синергиялық әсері көмірдің сорты төмендеген сайын маңыздырақ бола түседі, мүмкін олардың бастапқы құрылымында жылдам сопиролиз кезінде шайыр ретінде оңай сақталатын үлкен кеуектер мен хош иісті құрылымдардың шағын кластерлері бар [8]. ТСК және биомассаның сопиролизі кезінде синергиялық әсер байқалды, онда сопиролиз моноциклді және бициклді ароматты көмірсутектердің құрамының артуына ықпал етті [9]. Бұл ретте ароматты көмірсутектер мен фенолдардың үлесі есептелген мәнмен салыстырғанда айтарлықтай өсті, ал C<10 компоненті 86,48 % құрады, бұл 12,68 % есептік көрсеткіштен жоғары. Қоңыр көмір мен күріш қауызының біріккен пиролизі судың көп және шайырдың аз түзілуіне әкеледі [10]. Күріш қабығын қосу поликонденсация реакциясына байланысты қатты қалдықтың (пиролизден кейін) жоғары C/H атомдық қатынасына әкеледі, бұл конденсацияланған көмірді қалыптастыру. Битумды көмір мен биомассаның сопиролизінде синергетикалық әсер байқалды, әсіресе көмір-биомассаны араластыру қатынасы 70:30 (мас./мас.), температурасы 600 °C, қысымы 0,3 МПа [11]. Шайырдың шығымы әрбір шикізаттың жеке пиролизінің есептелген мәндерінен жоғары болды (шамамен 7,2 %) және сәйкесінше көмір шығымы төмен (шамамен 4,5 %) болды. Құрамындағы фенол қосылыстары, ароматты және алифатты көмірсутектер көбейді.

Ұнтақталған көмірдің және тікелей сұйылту қалдығының (ТСҚ) сопиролизінің нәтижелері айтарлықтай синергиялық әсерді көрсетті [12]. Екі шикізат та сутегі доноры қызметін атқарды, бұл шағын молекулалық бос радикал фрагменттерінің гидрленуіне ықпал етті, нәтижесінде шайыр шығымының артуына (5,55 %) әкелді, алкандардың мөлшері 12,25 %-ға артты, ал гудрондағы хош иісті көмірсутек пен фенолдың мөлшері сәйкесінше 11,898 %-ға азайды. Газдағы CH_4 мөлшері 19,60 %-ға өсті, ал H_2 мөлшері 19,05 %-ға төмендеді. Қоңыр көмірге ТСК қосқанда да синергиялық әсер байқалды, өйткені пиролиттік қатты қалдықтың нақты шығымы ТСК дозасының жоғарылауына байланысты теориялық мәннен жоғары болды, бұл өз кезегінде жоғары хош иістілікке және көмірдің реттелген құрылымына әкелді, ал көмірдің кеуекті құрылымы азырақ жақсарды [13].

Ұнтақталған көмір мен тікелей сұйылту қалдықтары арасындағы синергиялық әсер пиролиз шайырының шығымының артуына ықпал ететін бос радикалдар фрагменттері арасындағы өзара әрекеттесуді күшейтеді [14]. Шайыр мен H_2 максималды шығымы сәйкесінше 22,79 % және 37,12 %, 40 % ТСК қосқанда, ал 60 % ТСК қосқанда жартылай кокстың ең аз шығымы 65,01 %, газдың максималды шығымы 14,65 % құрады. Төменгі сұрыпты көмір мен кокстелетін көмірдің сопиролизі нәтижесінде елеулі синергиялық әсер байқалды, олардың қосылуы коллоидтар мөлшерінің ұлғаюына әкелді және пиролиз өнімдерінің өзара әрекеттесу реакциясы үшін жағдайларды қамтамасыз етті [15]. Екі шикізат та сутегі доноры ретінде пайдаланылды және пиролизден алынған бос радикалдар фрагменттері гидрлеу реакциясын жеңілдетті. Көмір мен тақтатастың әртүрлі сорттарының сопирол-

издік сипаттамаларын зерделеу кезінде процесс барысында синергия табылды, көмір мұнайлы тақтатастарды сутегімен қамтамасыз етеді, бұл гудронның шығымдылығын арттырады және құны жоғары шайырлы құрамдас қоспа ретінде қызмет етеді [16].

Құны жоғары құрамдас бөлігі бар өнімдерді алу үшін төмен сұрыпты көмірмен біріккен пиролизге арналған көмірсутекті шикізаттың тағы бір перспективалы түрі – жоғары тұтқыр (ауыр) мұнай, табиғи битум және т.б. сияқты «дәстүрлі емес көмірсутекті шикізат». Мысалы, ауыр мұнай және табиғи битум ароматты көмірсутектердің, шайырлы-асфальтті заттардың жоғары мөлшерімен, металдар мен күкіртті қосылыстардың жоғары концентрациясымен, тығыздық пен тұтқырлықтың жоғары мәндерімен, кокстелудің жоғарылауымен сипатталады.. Алайда мұндай шикізатты өңдеу дәстүрлі көмірсутек көздерін өңдеуге қарағанда күрделірек технологияларды және айтарлықтай қаржылық және энергетикалық шығындарды қажет етеді. Екінші жағынан, күрделі құрамға ие ауыр мұнай жоғары тығыздық пен тұтқырлық мәндеріне ие. Сондықтан, термиялық ыдырау процесінде мұнай көмір бөлшектерінің кеуектеріне белсенді түрде еніп, оларды қоршай алады және жанасу аймағын ұлғайтады, нәтижесінде көмір мен мұнай бөлшектері арасында тиімді әрекеттесу пайда болуы мүмкін. Осыған байланысты бұл жұмыстың мақсаты тұтқырлығы жоғары мұнайдың әртүрлі қоспаларының төмен сұрыпты көмірмен біріккен пиролиз процесіне әсерін зерттеу, сонымен қатар пиролиз өнімдерінің шығымы мен сипаттамаларын зерттеу болып табылады. Көмір мен мұнай арасындағы синергетикалық әсерді анықтау және талдау үшін термиялық әдіс қолданылды, TG-DTA/DSC үлкен температура диапазонында трансформацияның барлық кезеңдерін тіркей отырып, салыстырмалы түрде қысқа мерзімде үлгінің ыдырау процесінің сипаты туралы ауқымды ақпаратты алуға мүмкіндік береді [33].

Материалдар мен әдістер. Бұл зерттеуде пайдаланылған көмір төмен сұрыпты, ұзақ жалынды көмір түрі болды. Бұл көмір Борлы көмір кен орнынан (Қазақстан) жиналды және көлемі 5 мм-ден төмен ұсақталған күлділігі жоғары көмір болып табылады. Шарлы ұнтақтаудан кейін көмір <200 мкм бөлшектер өлшеміне дейін електен өткізіліп, одан әрі пайдалану үшін кептірілді. Тұтқырлығы жоғары мұнай үлгілері «Сарыбұлақ» мұнай-газ кен орнынан (Зайсан бассейні, Қазақстан) алынған. Шикізаттың екі түрінің орташа үлгілері алдын ала дайындалды.

1 - кесте. Шикізаттың сипаттамасы

Үлгілер	Құрама (%)									Молярлық қатынас	
	M	A	V	FC	C	H	O*	N	S	H/C	O/C
көмір	5.34	47.38	22.31	24.97	84.41	5.96	6.94	1.19	1,5	0,84	0,06
мұнай	6.59	0,1	90,94	2.37	83,75	10.08	3.96	0,52	1.69	1.43	0,04

M – ылғалдылық; A – күлділігі; V – ұшқыш зат; FC – тұрақты көміртек

1-кестеде көмір мен мұнайдың элементтік құрамы берілген. Көріп отырғанымыздай, көмір өте жоғары күлділігімен (47,38 %) және ұшпа заттар мөлшерінің (22,31%) төмен болуымен сипатталады. Көмірден айырмашылығы, тұтқырлығы жоғары мұнайдың күлділігі өте төмен (0,10 %) және көмірмен салыстырғанда ұшпа заттардың шығымдылығы (90,94 %) және көміртегі мен сутегі мөлшері айтарлықтай жоғары. Мұнайдағы сутегінің мөлшері 9 %-дан асады, бұл сутектің қайта бөлінуіне байланысты пиролиз өнімдерінің сапасына, сондай-ақ белсенді бос сутегі радикалдарының көптеп түзілуіне әкеледі [34]. Сонымен қатар, мұнайдағы (көмірге қарағанда) жоғары H/C мәні және көмірге қарағанда мұнайда негізінен алкандар мен оле-

финдердің жоғары болуын көрсетеді. Ал көмірде (мұнайға қарағанда) жоғары O/C мәні негізінен ароматты көмірсутектер, фенолдар, кетондар, альдегидтер сияқты қосылыстардың жоғары болуын көрсетеді.

Төмен сұрыпты көмірдің тұтқырлығы жоғары мұнаймен бірлескен пиролизін жүргізу үшін көмірге әртүрлі мұнай қоспаларымен (20 %-дан 80 %-ға дейін) сынамалар дайындалды, яғни көмір мен мұнайдың массалық қатынасы сәйкесінше 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 200, 200/0.

Үлгілер үлгі ылғалдылығы мен қоршаған атмосфера арасында шамамен тепе-теңдікке жеткенше ауада кептірілді. Дайындалған үлгілер герметикалық жабық контейнерде сақталды. Үлгі (50 г) алюминий ретортына салынып, азот ағыны 100 мл/мин және қыздыру жылдамдығы 10 °C/мин болғанда 500 °C дейін қыздырылды және 90 минут бойы сақталады. Ыдырау өнімдері сумен және мұзбен салқындатылған қабылдағышқа жіберілді. Шайыр мен су конденсацияланды. Газ тәрізді өнімдер талдау үшін сынама алынғаннан кейін атмосфераға шығарылды. Пиролизден кейін сұйық өнім мен қатты қалдықтың шығымы салмақ бойынша, ал пиролиз газының шығымы массалық баланс арқылы есептелді, яғни сынама салмағы мен пиролиз майы мен қатты қалдық салмағы арасындағы айырмашылық арқылы есептелді. Барлық тәжірибелер 3 рет қайталанып, орташа нәтижелер есептелді.

Пиролиз кезінде үлгілердің әрекетін зерттеу термиялық талдау TG-DTA/DSCқұрылғы көмегімен орындалды. Синхронды термиялық талдауға мүмкіндік беретін құрылғы LABSYSTMEvo TG-DTA/DSC (SETARAM, Франция). Бұл модель бір мезгілде термогравиметрияға (TG), дифференциалды термиялық талдауға (DTA) және дифференциалды сканерлеу калориметриясына (DSC) мүмкіндік береді. Термиялық талдау бөлмеден температурасынан бастап 1000 °C температураға дейін 5 мг үлгілермен жүргізілді, жылыту жылдамдығы 20 °C/мин. Азот инертті атмосфераны қамтамасыз ету үшін тасымалдаушы газ ретінде пайдаланылды.

Шикізаттың элементтік талдауы Flash EA 1112 автоматты элементтік анализаторының көмегімен анықталды.

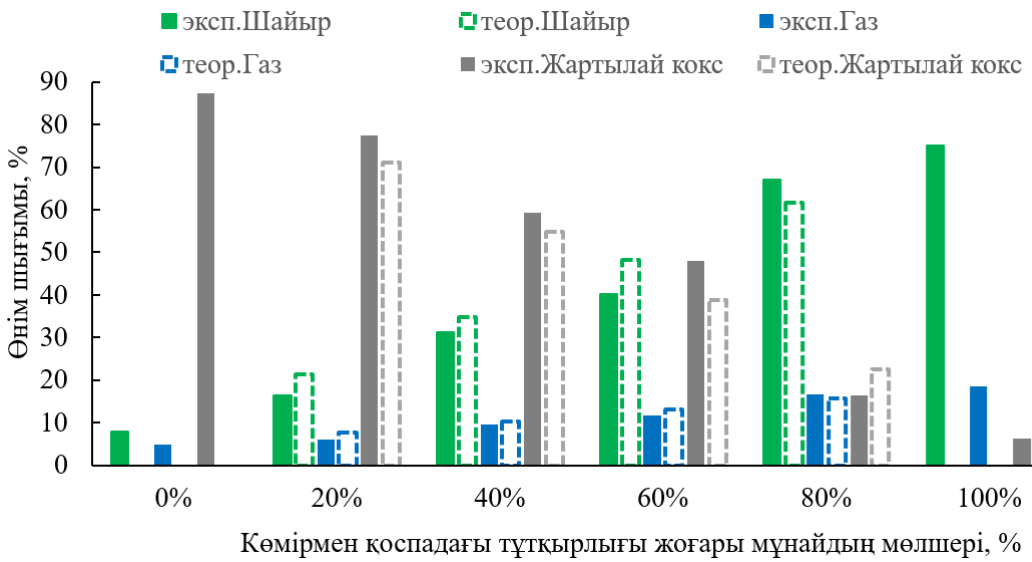
Нәтижелер мен талқылау. *Пиролиз өнімдерінің шығымы.* Көмір мен тұтқырлығы жоғары мұнайдың бірлескен пиролизі процесінің нәтижелері 1-суретте көрсетілген. Тұтқырлығы жоғары мұнайды көмірге 20-дан 80 %-ға дейін қосу, шайырдың (16,34-тен 67,03 %-ға) және газдың (6,15-тен 16,54 %-ға дейін) шығымдылығының айтарлықтай артуына және жартылай кокстың (77,51-ден 16,44 %-ға дейін) айтарлықтай төмендеуін көрсететін бірлескен пиролиздің қолайлы ағымына әкеледі. Мұнайды жекелей 0-20 %, 20-40 %, 40- 60 %, 60-80 % қосқанда шайыр мөлшері сәйкесінше 8,4 9%, 14,93 %, 9,02 % және 26,74 % өсті.

Шайыр мен газ шығымының бұлайша жоғарылауы тұтқырлығы жоғары мұнайдың құрамында шайырлы және асфальтенді компоненттер сияқты ауыр көмірсутектердің мөлшерінің едәуір жоғары болуымен байланысты болса керек, олар қыздырғанда белсенді радикалдар түзе алады. Бұл радикалдар көмірдің термиялық ыдырауын тездетеді, өйткені олар көміртек-көміртек және көміртек-сутек байланыстардың көмір матрицасындағы берік байланыстың үзілуіне әкеледі. Сонымен қатар, мұнай құрамында сутек бар қосылыстардың (әсіресе нафтендік және парафиндік фракциялар сияқты) жоғары болуы сұйық өнімдердің шығымының артуына ықпал етеді және сәйкесінше жартылай кокстың түзілуі басылады.

Жұмыста ауыр мұнайды төмен сұрыпты көмірге қосудан (көмір/мұнай қатынасы 8/2) олардың бірлескен пиролизі кезінде елеулі ұқсас әсерлер байқалды [35], онда шайыр мен газдың шығымы сәйкесінше 12,18 % және 7,74 % өсті, ал қатты қалдық шығымы 20 % төмендеді.

Пиролиз өнімдерінің тәжірибелік және теориялық шығымдарын салыстыру тек 80 % мұнай қосқанда ғана байқалды. Шайыр мен газдың тәжірибелік шығымы теориялық шығымнан жоғары болды, бұл көмір мен мұнай арасындағы оң синергетикалық әсердің нәтижесі болуы мүмкін екенін көрсетеді. Дегенмен, 20-60 % мұнай қосу кезінде тәжірибелік шығымдар шайыр мен газдың теориялық шығымынан аз немесе шама-

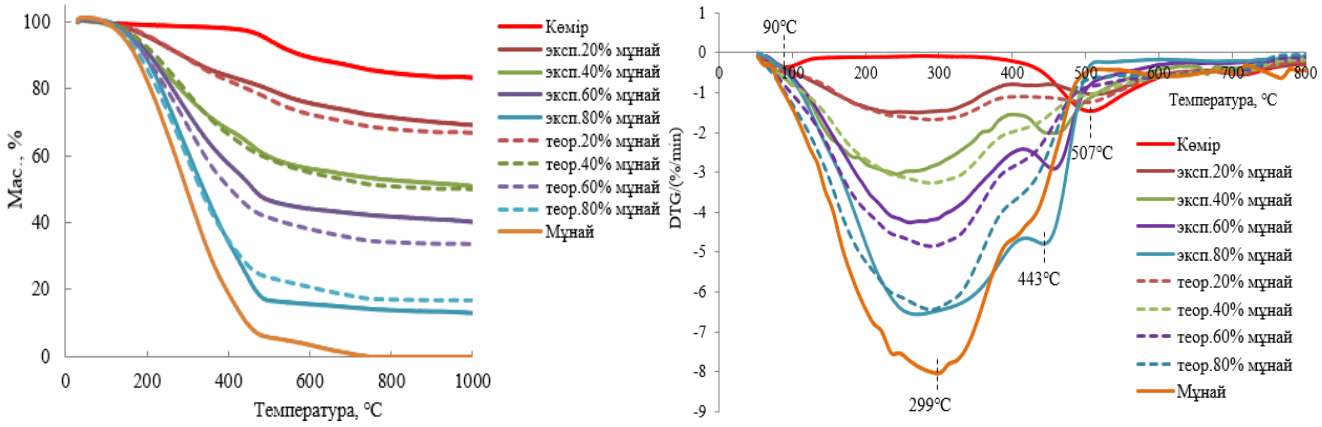
мен бірдей болады, бұл теріс синергиялық әсер- ді көрсетеді.



1 - сурет. Көмірмен бірге пиролиз өнімдерінің тәжірибелік (тұтас сызық) және теориялық (үзік сызық) шығымына әртүрлі мұнай қоспаларының әсері (0-ден 100 % дейін).

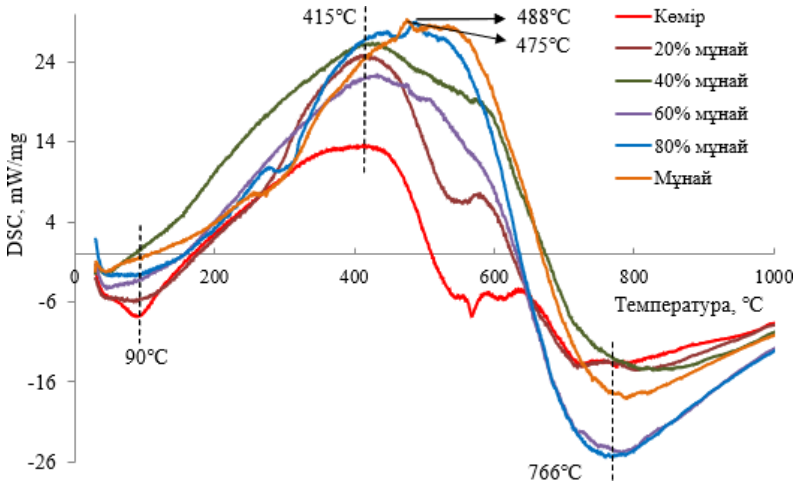
Байқалған оң синергетикалық әсер, шамасы, көмір мен мұнай шикізатының сипаттамаларының айтарлықтай айырмашылығына байланысты. Бұл [36] еңбекте де дәлелденген, мұнда шикізаттың әртүрлі түрлерінің әртүрлі химиялық және физикалық қасиеттері синергиялық әсерге әкелуі мүмкін екендігі атап өтіледі. Мысалы, биомасса қалдықтары мен мұнай шламының бірлескен пиролизінде синергетикалық әсер H/C қатынасының жоғарылауы (1,5-тен 2,0-ге дейін) және жоғары жылу құндылығының (19,5-тен МДж/кг-ға дейін) жоғарылауына байланысты шығымдылықтың жоғарылауына және мұнай сапасының жақсаруына әкелді [9]. Осылайша, көмір/мұнайдың оңтайлы қатынасы 20/80 болып табылады, бұл келесі факторлардың бірқатарына байланысты болуы мүмкін. Мұнайдың жоғары мөлшерімен мұнайдың ыдырауынан пайда болатын радикалдар саны көмірдің макромолекулаларымен тиімді әрекеттесіп, олардың құрылымын бұзатын және ұшқыш заттардың шығымдылығын арттыруға мөлшері жеткілікті болады. Ал құрамында сутегі бар қосылыстардың мөлшері жоғары болуы көмірдің бос радикалдарын белсенді түрде тұрақтандырады. Сонымен қатар, мұнайдың мөлшерінің төмендеуімен (20-60 %) көмірдің ыдырауы сәйкесінше аз болады және реакциялар негізінен көмір матрицасын дегидрлеу және полимерлеу есебінен жүреді, бұл сұйық өнімдер мен газдың шығуын шектейді. Ал құрамында сутек бар қосылыстар мөлшерінің жеткіліксіз болуына байланысты кокстың қарқынды түзілуі жүреді, ал шайырлы өнімдер қайтадан полимерлеуден өтеді. Жалпы алғанда, мұнай мөлшерінің жоғары болуы, оның бөлшектері көмір бөлшектерінің бетін толық жауып, көмірдің кеуектілігін және жылу алмасуды арттырады, көмір матрицасының сұйылуының жоғарлауына ықпал етеді, нәтижесінде шайыр мен газдың шығымының артуына айтарлықтай әсер етеді.

TG-DTG талдауы. Сопиролиз кезінде көмір мен мұнай арасындағы синергиялық әсерді растау үшін TG-DTG-DSC тәжірибелері жүргізілді. Көмір-мұнай пиролизінен және көмір-мұнай сопиролизінен алынған TG-DTG-DSC қисықтары 2 және 3-суреттерде көрсетілген. Осы қисықтар негізінде 2-кестеде көмір/мұнай массасының әртүрлі қатынасы үшін негізгі сипаттамалық параметрлер келтірілген.



(A) *(B)*

2 - сурет. Көмір, мұнай және көмір-мұнай қоспалары үлгілерінің тәжірибелік және теориялық TG (A) және DTG (B) қисықтары



3 - сурет. Көмір, мұнай және көмір-мұнай қоспалары үлгілерінің DSC қисықтары

2 - кесте. Әртүрлі мұнай қоспаларымен пиролиз сипаттамаларының параметрлері

Мұнайдың массалық құрамы (массалық %)	Тбас.	T1max (°C) / DTG1max (% мин-1)	T2max (°C) / DTG2max (% мин-1)	T3max (°C) / DTG3max (% мин-1)	Тсоң.	Салмақ жоғалту (%)
0	436,03	–	506,83 / 1,47	712,84 / 0,55	846,79	16,65
20	140,57	270,43 / 1,50	511,01 / 1,04	712,83 / 0,54	779,47	30,9
40	127,4	243,37 / 3,05	457,93 / 2,02	666,11 / 0,54	773,18	49,27
60	165,67	261,03 / 4,26	456,91 / 2,91	–	769,15	59,8
80	170,36	271,48 / 6,56	443,28 / 4,79	–	763,84	86,87
100	159,76	299.43/ 8.04	–	–	721,16	97,72

$T_{бас.}$ - пиролиз басталғандағы температура, T_{1max} - белгілі температура диапазонында салмақ жоғалтудың максималды жылдамдығына қол жеткізілетін температура, $T_{соң.}$ - пиролиздің соңғы температурасы.

Алынған мәліметтерді талдау 20-80 % мұнай қосқанда үлгілердің салмақ жоғалтуының айтарлықтай артуына әкелетінін көрсетті (шамамен 17-ден 87 % дейін). Әсіресе 80 % мұнай қосқанда басқа мұнай қоспаларымен салыстырғанда (20-60 %) максималды салмақ жоғалту байқалады. Бұл TG және DTG спектрлерінен айқын түрде көрінеді (2-сурет), сонымен қатар DTGmax сандық мәндері және пиролиз кезіндегі жалпы салмақ жоғалту бойынша 2-кестеден көруге болады. Бұл деректер, мысалы, 80 % мұнай қосқанда салмақ жоғалтуды 60 % мұнай қосумен салыстырғандағы айырмашылығы 27,07 % құрағанын көрсетеді, бұл басқа мұнай қоспаларының ішіндегі ең үлкені. Сонымен қатар, тәжірибелік және теориялық мәліметтерді салыстырмалы талдау тек 80% мұнайда тәжірибелік TG-DTG қисықтары теориялық TG-DTG қисықтарынан төмен орналасқанын көрсетті (2-сурет), яғни оң синергетикалық әсерді көрсетеді, ал басқа мұнай қоспаларында эксперименттік TG-DTG қисықтары TG-DTG әсерінің теріс сызығынан жоғары орналасқан.

DTG қисығында 100 % көмір 90,06, 506,83 және 712,84 °C температурада максималды салмақ жоғалту шыңдары бар бірінші реттік ыдыраудың үш кезеңін көрсетті, бұл басқа көмірлер үшін ұқсас деректер шамасымен салыстырылады [34,35,37,38]. DTG қисығының 90,06 °C шағын шыңы массаның жоғалуының жылдамдығының баяу өскенін көрсетті және шикізаттан физикалық адсорбцияланған ылғалдың бөлінуімен байланысты болды [38]. 20 % мұнай қосу бұл шыңның жағылуына және 100 %coal көмірде жоқ 1-ші үлкен шыңның пайда болуына әкелді. Мұнайдың одан әрі қосылған бұл шыңы шамамен 270-299°C шағын диапазонында айтарлықтай өсті және ауытқиды, сонымен қатар бұл кейінгі басқа шыңдармен салыстырғанда ең жоғары болып табылады. Ыдыраудың 1-ші кезеңі төмен қайнайтын қосылыстардың бөлінуінен (мұнайда бар) және әлсіз химиялық байланыстың үзілуінен және CO_2 мен төмен молекулалы ұшқыш заттардың булануы рекомбинациясынан туындауы мүмкін [35].

Температураның одан әрі жоғарылауы ыдыраудың 2-ші кезеңіне әкелді, бұл мұнай қосылған кезде максималды салмақ жоғалту шыңы төменгі температураға (шамамен 507-ден 443 ° C-қа дейін) ығысады және 100 % мұнай қосқан кезде бұл шың толығымен жойылды. Ыдыраудың 2-ші кезеңі көмір мен мұнайдың органикалық бөлігіндегі күштірек химиялық байланыстардың, атап айтқанда құрамында оттек бар функционалдық құрылымдардың қарқынды ыдырауымен, айтарлықтай мөлшерде газдың түзілуімен байланысты. Мұнда жартылай кокстың түзілуімен көмір мен мұнайдың деполимерленуі және ыдырау процестері, сондай-ақ ұшқыш заттар мен шайырдың көп мөлшерін түзе отырып, белсенді H_2 атомдарымен бос радикалды фрагменттерді (тұрақсыз көпір байланыстарының үзілуінен пайда болған) біріктіру процестері жүруі мүмкін [37].

Температура 650 °C-тан жоғары көтерілген кезде ыдыраудың 3-ші кезеңі байқалды, бұл кезде салмақ жоғалту шыңы (2-ші шыңға ұқсас) мұнай қосқанда 713-тен 666 °C-қа дейін төмен температураға қарай ығысады, ал қазірдің өзінде 60 % және 80 % мұнай қосындыларында бұл шың толығымен жойылды. Ыдыраудың 3-ші кезеңі кокстың бастапқы түзілуімен конденсация және карбонизация реакцияларын қамтуы мүмкін және аз мөлшерде ұшқыш газдар бөлінуін жалғастырады.2-ші және 3-ші шыңдардың мұндай жоғалуы жоғарыда аталған процестерге мұнай қосындыларының мөлшерін арттыруды жеделдету әсеріне байланысты болуы мүмкін, нәтижесінде ұшқыш заттардың көпшілігі тіпті T_{2max} және T_{3max}-ға дейін шығарылды.

Көмір үлгісінің DSC қисығы DTG қисығына ұқсас 90 °C температурада эндотермиялық шыңды көрсетеді (үлгі бетіндегі физикалық адсорбцияланған ылғалмен байланысты жылуды сіңіруге байланысты) (3-сурет). Барлық DSC қисықтары 2 негізгі шыңды көрсетеді: экзотермиялық (415-488 °C) және эндотермиялық шыңдар (шамамен 766 °C) және 1-ші шыңның қарқындылығы 2-ші шыңнан әлдеқайда жоғары, өйткені 1-ші шың көптеген негізгі процестермен байланысты, мысалы, органикалық компоненттердің ыдырауы, жартылай гидроген, жартылай коксте-

лу, қалдық ұшпа қосылыстар мен кокс түзілуін жою 2-ге байланысты.

Сонымен қатар, мұнайды қосу көмірдің спектрімен салыстырғанда экзотермиялық шыңның қарқындылығының айтарлықтай артуына әкеледі, өйткені мұнайдың құрамында ұшқыш заттар көп және көмірсутектердің қарқынды ыдырауы жүреді. Ал 80 % мұнайдың қосылуы шыңның қарқындылығының жоғарылауына ғана емес, сонымен қатар 100 % мұнай спектрімен салыстырғанда экзотермиялық шыңның жоғары температураға күрт ығысуына әкеледі, бұл да синергетикалық әсердің болуын растайды.

Қорытынды. Тұтқырлығы жоғары мұнаймен (әртүрлі қатынаста) төмен сұрыпты көмірдің біріккен пиролизін зерттеу нәтижесінде мынадай қорытынды жасауға болады:

1. Көмірге мұнайды 20-дан 80 %-ға дейін қосу қолайлы сопиролизге әкеледі, бұл шайыр шығымының 16,34-тен 67,03 %-ға дейін айтарлықтай өсуінен көрінеді. Сондай-ақ пиролиз газы шығымының 6,15-тен 16,54 %-ға дейін біртіндеп артуы байқалады, ал жартылай кокс мөлшері 77,51-ден 16,43 %-ға дейін айтарлықтай төмендеді. Бұл негізінен тұтқырлығы жоғары мұнай құрамындағы шайырлар мен асфальтендердің көп болуына байланысты болуы мүмкін.

2. Термиялық талдау нәтижелері TG-DTG-DSC көмір пиролизі температура шыңдары бар бастапқы ыдыраудың 3 сатысынан тұратынын көрсетті.90,06; 506,83 және 712,84 °C. Қоспаға 20 % мұнай қосу төменгі температура шыңының жағылуына және қосымша шыңның пайда болуына әкелді (270-299 °C), оның интенсивтілігі мұнайды қосқанда айтарлықтай өсті. Біріккен пиролиз температурасының жоғарылауымен температура шыңы (507-443 °C) 2-ші кезең және температура шыңы (713-666 °C) болатын 3-кезең байқалды.

3. Реактордың пиролизінен және TG-DTG-DSC термиялық талдауынан алынған тәжірибелік деректерді талдау көмір/мұнай қатынасы = 20%/80% болғанда айтарлықтай оң синергетикалық әсер байқалатынын көрсетті, бұл кезде ең көп салмақ жоғалту және DTG_{max} мәндерінің жоғарылауы байқалады. Оның үстіне тек осы көмір/мұнай қатынасында ғана тәжірибелік гудрон мен газдың шығымы теориялық шығымнан жоғары болды (1-сурет), ал тәжірибелік TG-DTG қисықтары теориялық TG-DTG қисықтарынан төмен орналасқан (2-сурет). Мұндай қасиет, әдетте, көмірсутек шикізатының физикалық-химиялық сипаттамаларының күшті айырмашылығына байланысты болуы мүмкін.

Қаржыландыру: *Бұл жұмыс Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды. Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі (Жоқ.BR21882171«SDG 9.4: Минералды шикізатты және қалдықтарды пиролиз арқылы өңдеу арқылы Қазақстанда «жасыл» экономиканы дамыту»).*

Әдебиеттер

1. Garside M. Global proven coal reserves by country 2020. - 2025. URL: www.statista.com/statistics/237096/proven-coal-reserves-of-the-top-ten-countries/.- Date of address: 02.04.2025.

2. Katalambula H., Gupta R. Low-Grade Coals: A Review of Some Prospective Upgrading Technologies // Energy & Fuels. - 2009. - Vol.23(7). - P. 3392–3405. DOI 10.1021/ef801140t.

3. Zhou J., Wu L., Liang K., Zhou J., Zhang Q., Song Y., Tian Y., Lan X. Spectroscopic Analysis of Products from Low-Rank Coal Microwave Pyrolysis: Effect of Reaction Atmosphere// Journal of Applied Spectroscopy. - 2020. -Vol.87. -P.745-752. DOI 10.1007/s10812-020-01064-5.

4. Liu Y., Yao Q., Sun M., Ma X. Catalytic fast pyrolysis of coal tar asphaltene over zeolite catalysts to produce high-grade coal tar: an analytical Py-GC/MS study// Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. - 2021. - Vol.156. - 105127. DOI 10.1016/j.jaap.2021.105127.

5. Che Y., Shi K., Cui Z., Liu H., Wang Q., Zhu W., Tian Y.. Conversion of low temperature coal tar into high value-added chemicals based on the coupling process of fast pyrolysis and catalytic cracking // Energy. – 2023. -Vol. 264(4). - Article 126169. DOI 10.1016/j.energy.2022.126169.

6. Ma Z.-H., Wei X.-Y., Liu G.-H., Liu F.-J., Zong Z.-M. Value-added utilization of high-temperature coal tar:A review//Fuel.-2021.-Vol.292(6):119954. DOI 10.1016/j.fuel.2020.119954.

7. Hu G., Li J., Zhang X., Li Y. Investigation of waste biomass co-pyrolysis with petroleum sludge using a response surface methodology // Journal of Environmental Management.-2017.-P.234-242. DOI 10.1016/j.jenvman.2017.01.069.

8. Soncini R., Means N., Weiland N. Co-pyrolysis of low rank coals and biomass: Product distributions // Fuel.-2013.-Vol.112. -P.74-82. DOI 10.1016/j.fuel.2013.04.073.

9. Yin N., Song Y., Lei W., Dong P., Wang C., Zhou J., Zhang X. Analysis of tar and pyrolysis gas from low-rank coal pyrolysis assisted by apple branch // Journal Renewable Sustainable Energy.-2023.-Vol.15:043102. DOI 10.1063/5.0156660.

10. Li Y., Huang S., Wang Q., Li H., Zhang Q., Wang H., Wu Y., Wu S., Gao J. Hydrogen transfer route and interaction mechanism during co-pyrolysis of Xilinhot lignite and rice husk // Fuel Processing Technology.-2019. -Vol.192. - P.13-20. DOI 10.1016/j.fuproc.2019.04.022.

11. Huang Y., Wang N., Liu Q., Wang W., Ma X. Co-pyrolysis of bituminous coal and biomass in a pressured fluidized bed // Chinese Journal of Chemical Engineering.-2019. -Vol.27(7). - P.1666-1673. DOI 10.1016/j.cjche.2019.03.012.

12. Song Y., Yin N., Yao D., Ma Q., Zhou J., Lan X. Co-pyrolysis characteristics and synergistic mechanism of low-rank coal and direct liquefaction residue // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects.-2019.-Vol.41(2).-P.2675-2689. DOI 10.1080/15567036.2019.1568639.

13. Xu J., Bai Z., Bai J., Kong L., Lv D., Han Y., Dai X., Li W.. Physico-chemical structure and combustion properties of chars derived from co-pyrolysis of lignite with direct coal liquefaction residue // Fuel. - 2017. - P.187:103-110. DOI 10.1016/j.fuel.2016.09.028.

14. Yin N., Song Y., Zhou J., Tian Y., Yang A. Effects of Direct Coal Liquefaction Residue Additions on Low-Rank Pulverized Coal during Co-Pyrolysis // Materials Science Forum. - 2020. - Vol.999.- P.167-177. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.999.167.

15. Su T., Song Y., Lan X. Product Characteristics and Interaction Mechanism in Low-Rank Coal and Coking Coal Co-Pyrolysis Process // Journal of Chemical Engineering of Japan. - 2020. - Vol.53(4). DOI 167-176. 10.1252/jcej.18we172.

16. Miao Z.-Y., Wu G.-G.; Li P., Meng X.-L., Zheng, Z.-L. Investigation into co-pyrolysis characteristics of oil shale and coal // International Journal of Mining Science and Technology. - 2012. - Vol.22(2). - P. 245-249. DOI 10.1016/j.ijmst.2011.09.003.

17. Liu N., Huang H., Huang X., Li R., Feng J., Wu Y. Co-pyrolysis Behavior of Coal and Biomass Synergistic Effect and Kinetic Analysis // ACS OMEGA. - 2024. - Vol.9(29). -P.31803-31813. DOI 10.1021/acsomega.4c03053.

18. Zhang Q., Zhang S., Liu J., Li J., Liu J., Zhoua J., Wu L. Catalytic upgrading of volatiles in co-pyrolysis of coal and biomass by Mo-MFI molecular sieves // RSC Advances. - 2023. - Vol.13(48). - P. 33852-33862. DOI 10.1039/d3ra06925g.

19. Wang B., Liu N., Wang S., Li X., Li R., Wu Y. Study on Co-Pyrolysis of Coal and Biomass and Process Simulation Optimization. Sustainability. - 2023.- Vol.15(21):15412. DOI 10.3390/su152115412.

20. Gouws S., Carrier M., Bunt J., Neomagus H. Co-pyrolysis of coal and raw/torrefied biomass: A review on chemistry, kinetics and implementation // Renewable and Sustainable Energy Reviews.- 2021.-Vol. 135:110189. DOI 10.1016/j.rser.2020.110189.

21. Abnisa F., Ashri W.M. A review on co-pyrolysis of biomass: An optional technique to obtain high-grade pyrolysis oil // Energy Conversion and Management. - 2014.- Vol.87.- P.71-85. DOI 10.1016/j.enconman.2014.07.007.

22. Aboyade A., Carrier M., Meyer E., Knoetze H., Görgens J. Slow and pressurized co-pyrolysis of coal and agricultural residues // Energy Conversion and Management. - 2013. - Vol.65. - P.198-207. DOI 10.1016/j.enconman.2012.08.006.

23. Mushtaq F., Mat R., Ani F. A review on microwave assisted pyrolysis of coal and biomass for fuel production // Renewable Sustainable Energy Reviews.- 2014. - Vol.39.- P.555-574. DOI 10.1016/j.rser.2014.07.073.

24. Hu G., Li J., Zhang X., Li Y. Investigation of waste biomass co-pyrolysis with petroleum sludge using a response surface methodology // Journal of Environmental Management. - 2017. - Vol.192. - P. 234-242. DOI 10.1016/j.jenvman.2017.01.069.

25. Chen X., Liu L., Zhang L., Zhao Y., Qiu P., Ruan R., A review on the properties of copyrolysis char from coal blended with biomass // Energy Fuels.-2020.-Vol.34(4).-P.3996-4005. DOI 10.1021/acs.energyfuels.0c00014.

26. Saeed S., Saleem M., Durrani A. Thermal performance analysis and synergistic effect on co-pyrolysis of coal and sugarcane bagasse blends pretreated by trihexyltetradecylphosphonium chloride // Fuel.-2020. - Vol.278:118240. DOI 10.1016/j.fuel.2020.118240.

27. Feng W., Zheng M., Jin L., Bai J., Kong L., Li H., Bai Z., Li W. Co-pyrolysis behaviors of coal and polyethylene by combining in-situ Py-TOF-MS and reactive molecular dynamics // Fuel. - 2023. - Vol. 331(1-2):1125802. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125802.

28. Jelita R., Iryanti F., Irawan C., Jefriadi, Hafiz M., Angreini I., Meilana D. Characterization and comparative study of pyrolysis of low rank coal and biomass // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. - 2024. - Vol.59(1). - P. 73-80. DOI 10.59957/jctm.v59.i1.2024.8.

29. Brat Z., Janković B., Stojiljkovic D., Radojevic M., Manic N. The assessment of synergistic effect on performing the co-pyrolysis process of coal and waste blends based on thermal analysis // Thermal Science.- 2022.-Vol.26(3). - P.2211-2224. DOI 10.2298/TSCI210516310B.

30. Zhang P., Chen Z., Zhang Q., Zhang S., Ning X., Zhou J. Co-pyrolysis characteristics and kinetics of low metamorphic coal and pine sawdust // RSC Advances. - 2022. - Vol.12(34). -P. 21725-21735. DOI 10.1039/d2ra02461f.

31. Wu, Z., W. Yang, X. Tian, Yang B. Synergistic effects from co-pyrolysis of low-rank coal and model components of microalgae biomass // Energy Conversion and Management. -2017. - Vol.135. - P.212-225. DOI 10.1016/j.enconman.2016.12.060.

32. Huang Y., Wang N., Liu Q., Wang W., Ma X. Co-pyrolysis of bituminous coal and biomass in a pressured fluidized bed // Chinese Journal of Chemical Engineering.- 2019.-Vol. 27(7). - P.1666-1673. DOI 10.1016/j.cjche.2019.03.012.

33. Yermagambet B.T., Kassenova Zh.M., Nurgaliyev N.U., Kazankapova M.K., Martemyanov S.M. Calculation of Kinetic Parameters of Thermal Decomposition of Coals of Various Deposits of Kazakhstan. News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan // Series of Geology and Technical Sciences.-2020.-Vol.4 (442).- P.86-93. DOI 10.32014/2020.2518-170X.88.

34. Song Y., Yin N., Yao D., Ma Q., Zhou J., Lan X. Co-pyrolysis characteristics and synergistic mechanism of low-rank coal and direct liquefaction residue // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.-2019.-Vol.41(2).-P.1-15. DOI 10.1080/15567036.2019.1568639.

35. Song Y., Ma Q., He W. Co-pyrolysis Properties and Product Composition of Low-Rank Coal and Heavy Oil // Energy & Fuels. - 2016. - Vol.31(1).- P.217-223. DOI 10.1021/acs.energyfuels.6b02106.

36. Lin B., Huang Q., Chi Y. Co-pyrolysis of oily sludge and rice husk for improving pyrolysis oil quality // Fuel Processing Technology.- 2018.-Vol.177.- P.275-282. DOI 10.1016/j.fuproc.2018.05.002.

37. Ning Y., Yonghui S., Zhou J., Tian Y. Effects of Direct Coal Liquefaction Residue Additions on Low-Rank Pulverized Coal During Co-Pyrolysis // Materials Science Forum. - 2020. -Vol.999. - P.167-177. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.999.167.

38. Liu N., Huang H., Huang X., Li R., Feng J., Wu Y. Co-pyrolysis Behavior of Coal and Biomass: Synergistic Effect and Kinetic Analysis // ACS Omega.-2024. -Vol.9(29). P.31803-31813. DOI 10.1021/acsomega.4c03053.

Авторлар туралы мәліметтер

Нургалиев Н.У. х.ғ.к., қауымдастырылған профессор (доцент), К. Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Айбульдинов Е.К.- PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Жаңа химиялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты, К. Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: elaman_@mail.ru;

Искакова Ж.Б.- х.ғ.к., қауымдастырылған профессор (доцент), Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Жаңа химиялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақстан, e-mail: iskakova_zhb@enu.kz;

Колпек А.- х.ғ.к., қауымдастырылған профессор (доцент), Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: kolpek_a@enu.kz;

Берденов Ж. Г.- PhD, қауымдастырылған профессор (доцент), Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстане-mail: berdenov-z@mail.ru;

Сабитов А. С. -докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: sabitovas1@enu.kz;

Копишев Э.Е.- химия ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: eldar_kopishev@mail.ru;

Машан Т.Т.- х.ғ.к., профессор м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: togzhan-mashan@mail.ru;

Кусепова Л.А.- х.ғ.к., доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, 010008; e-mail: kussepova_la@enu.kz;

Абдиюсупов Г.Г.- менеджер, ТОО «CCS Services - Central Asia», Алматы, Қазақстан, e-mail: gaziz_86@inbox.ru;

Information about the authors

Nurgaliyev N.U.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Aybuldinov E.K.- PhD, Chief Researcher at the Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Kazakhstan, Astana, e-mail: elaman_@mail.ru;

Iskakova Zh.B.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanariskakova@mail.ru;

Kolpek A.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana, e-mail: aynagulk@mail.ru;

Berdenov Zh.G.- PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana, e-mail: berdenov-z@mail.ru;

Sabitov A.S.- Doctoral student, Department of Chemistry, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana, e-mail: sabitov_as_1@enu.kz;

Kopishev E.Ye.-Candidate of Chemical Sciences, , L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: eldar_kopishev@mail.ru;

Mashan T.T. -Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana, e-mail: togzhan-mashan@mail.ru;

Kusepova L.A.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana, e-mail: kusepova71@mail.ru;

Abdiyussupov G.G.- Manager, CCS Services - Central Asia LLP, Kazakhstan, Almaty, e-mail: gaziz_86@inbox.ru.