

Gulzat Aitkaliyeva – PhD (Petrochemistry), Associate Professor, Institute of geology, oil and gas, Satbayev University; e-mail: g.aitkaliyeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>.

Madeniyet Yelubay* – Candidate of Chemical Science, Dean of the Faculty of Natural Sciences, Professor, Toraighyrov University; e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215>.

Nurikamal Demeubayeva – Master of Technical Sciences, researcher, Institute of geology, oil and gas, Satbayev University; e-mail: n.demeubayeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7944-6341>.

Aigul Amitova – PhD, Head of the Department of Chemical and Biochemical Engineering, Institute of geology, oil and gas, Satpayev University; e-mail: a.amitova@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7721-6473>.

Поступила в редакцию 14.08.2024
Поступила после доработки 02.09.2024
Принята к публикации 03.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-45](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-45)



FTAXP: 31.27.23

**Н.Н. Нурғалиев^{1*}, А.Ж. Акимжанов¹, Е.П. Евлампиева¹, Р.К. Динжуманова²,
Д.Ж. Бекчанов³**

¹Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки көшесі, 20

²Семей қаласының Медициналық университеті,
071400, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Абай көшесі, 103

³Мырза Ұлықбек атындағы Өзбекстан ұлттық университеті,
100174, Өзбекстан Республикасы, Ташкент қ., Университетская көшесі, 4

*e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz

ПЛАСТИКАЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ПИРОЛИЗ ӘДІСІМЕН ҚАЙТА ӨНДЕУ

Аңдатпа: Пластикалық қалдықтарды химиялық қайта өңдеу пластмассаларды қайта өңдеудің қажетті қарқынына қол жеткізу және климатқа бейтарап және ресурстарды үнемдейтін айналмалы экономиканы құру үшін механикалық қайта өңдеуге пайдалы қосымша бола алады. Болашақта қайта өңдеуге ұшырайтын әртүрлі аралас пластикалық қалдықтар орташа қыздыру жылдамдығымен және пиролиз температурасымен сипатталатын аралық пиролиздің толығымен біркелкі жағдайында зерттеледі. Өнімнің таралуы және өнімнің таңдалған қасиеттері анықталады, процестің массасы мен энергия балансы алынады. Өнімнің шығымдылығы мен құрамы пиролизденген қалдықтарға өте тәуелді. Барлық нәтижелер пиролиздің әртүрлі күрделі аралас пластик қалдықтарынан химиялық шикізатты алу үшін қолайлы процесс екенін көрсетеді. Аралас пластик қалдықтарын пиролиз әдісімен химиялық қайта өңдеуге арналған негізгі массалық және энергетикалық баланстар анықталды. Шикізатты қайта өңдеуге арналған өнімдерді барлық зерттелген пластикалық қалдықтардан алуға болады. Өнімнің сапасы көбінесе шикізатқа байланысты. Жылытуға, балқытуға, пиролизге және булануға арналған энергияға деген қажеттілік шикізаттың калориялық құндылығының шамамен 5%-ын құрайды. Шикізат көміртегінің 50-ден 75%-ға дейін конденсатта қалпына келтірілуі және химия өнеркәсібіндегі құн тізбегіне қайта енгізілуі мүмкіндігін дәлелденді.

Түйін сөздер: пластикалық қалдық, қайта өңдеу, пиролиз, айналмалы экономика, қоршаған орта.

Кіріспе

Еуропалық пластмасса түрлендіргіштерінің сұранысы 2021-жылы 50,7 миллион тоннаны құрады [1]. Буып-түю және құрылыс-бұл түпкілікті пайдаланудың ең ірі нарықтары, одан кейін автомобиль, электр және электронды қосымшалар. Көдімгі пластмассаларға және әдеттегі қолданбаларға сұранысы 1-кестеде берілген. Полиолефинді пластмассалар сұраныстың жартысынан көбін құрайды.

Германияда 2019 жылы шамамен 12 миллион тонна пластмасса тұтынылып, 6 миллион тоннаға жуық пластик қалдықтары жиналды. Қолданылуына байланысты кәдеге жарату қалдықтардың көлемінде мүлдем басқаша көрінеді. Әдетте қысқа мерзімді орауыш пластмассалар үшін тұтынылған массаның 95%-дан астамы қалдықтардан алынды. Өнімнің қызмет ету мерзімі ұзағырақ құрылыс және автомобиль пластмассалары жағдайында тұтыну мен қалдықтардың көлемі айтарлықтай алшақтайды. Демек, пластмассалардың көп мөлшері әлі де қолданылуда және болашақ қайта өңдеу тұжырымдамалары үшін өзекті болып қала береді.

2019 жылы жиналған пластикалық қалдықтардың 47%-ы тек механикалық қайта өңдеу процестеріне жіберілді. Шығарылатын өнім негізінде жиналған пластик қалдықтарының 32%-ы жаңа пластмасса бұйымдарын өндіру үшін қайта өңдеу ретінде қолжетімді болды. Керісінше, жиналған пластикалық қалдықтардың 53%-ы қалдықтарды жағу қондырғыларында энергияны қалпына келтіру үшін тікелей пайдаланылды немесе қалдықтардан алынатын отын ретінде пайдаланылды [2], нәтижесінде көмірқышқыл газы бөлінеді. Пластмассадағы көміртегі бұдан әрі материалды пайдалану үшін қол жетімді емес. Пластикалық қалдықтарды химиялық қайта өңдеуді масштабта және механикалық қайта өңдеуді толықтыра отырып, пластикалық материалдың, демек, циклде сақталатын көміртектің мөлшерін көбейту үшін құру қажет. Аралас пластик қалдықтарына, тазартылмаған және композиттік қалдықтар ағындарына, сондай-ақ термостаттар мен эластомерлер сияқты механикалық қайта өңдеуге болмайтын пластмассаларға назар аудару керек.

Сонымен қатар, химиялық қайта өңдеу химиялық қайта өңделген шикізаттан тың материал өндіруге мүмкіндік беру арқылы термопластикалық қайта өңдеулердің сапасы мәселесін шешеді.

Химиялық қайта өңдеуге сольволиз, пиролиз және газдандыру процестері жатады. Әрбір жағдайда мақсатты өнімдер химия өнеркәсібіндегі қолданыстағы технологиялық тізбектерге реинтеграциялануы мүмкін заттар болып табылады. Сольволиз кезінде пластикалық қалдықтар еріткіште оның мономерлі компоненттеріне ыдырайды. Оны арнайы пластмассаларға, негізінен полиэтиленге қолдануға болады терефталат, полиуретандар және полиамид. Шикізат қоспалары және процестің жоғары спецификалық бөліну күші кедергілер болып табылады [3]. Керісінше, газдандыруды қалдықтардың барлық түрлеріне қолдануға болады. Бұл көміртекті материалдардың ауамен, оттегімен, бумен немесе олардың қоспасымен ішінара тотығуын білдіреді [4]. Мақсатты өнім-көміртегі тотығы мен сутегінің негізгі компоненттері бар синтез газы есептеледі [3]. Жоғары температурада газдандыру әдісімен химиялық қайта өңдеу химиялық өнімдердің кең спектрі үшін қазба шикізатын алмастырады, бірақ мономерлерді өндіру үшін арнайы емес.

Пиролиз кезінде шикізат инертті атмосферада жоғары температурада ыдырайды. Бұл шикізатқа, технологиялық жағдайларға және нақты технологияға байланысты қатты, сұйық және газ тәрізді өнімдердің кең таралуына әкеледі. Сұйық пиролиз өнімдері қазба көмірсутегі шикізатын, атап айтқанда мономер өндірісінде алмастыра алады [4]. Металл және минералды ластанушы заттар бөлінеді [3].

Өнімдердегі гетероатомдар өнімнің сапасын төмендетеді және оларды ағынды өңдеуден бұрын алып тастау керек [4,5]. Осылайша, пластмассаларға арналған алғашқы өнеркәсіптік пиролиз процестері қазіргі уақытта полиолефиндерді орау сияқты қоспалардың төмен деңгейі бар таңдалған қалдық ағындарына бағытталған. Аралас пластик қалдықтарын ауқымды өңдеу үшін технологиялар әлі толық дамымаған [3,4].

Пластмассалардың пиролизі

Пластмассалардың және осылайша түзілетін өнімдердің термиялық деградациясы полимер түріне өте тәуелді. Олардың Еуропадағы сұранысына, қолданылуына, ыдырау температурасына және пиролиздің негізгі өнімдеріне шолу жасайды. Ыдырау температурасынан басқа, конверсия және өнімнің шығымы шикізат пен өнімнің тұру уақытына байланысты. Негізінен, жоғары температурада қысқа тізбекті өнімдер, газдар, кокс көп түзіледі. Төмен температурада балауыздар мен майлы компоненттер көбірек алынады [4]. 1-кестеге сәйкес 400-ден 600°C-қа дейінгі аралық пиролиз қарапайым пластмассалардың ыдырауы үшін жарамды. Мұндағы мақсатты өнім негізінен конденсацияланған фаза болып табылады [4-34].

Кесте 1 – Пластмассалардың ыдырауын сипатталуы

Пластмасса	Қолданысы	2021 жылы ЕО-28, Норвегия, Швейцария елдеріндегі сұранысы, млн т.	Ыдырау механизмі (инертті орта)	Ыдырау температурасы (°C)	Өнімнің сипаттамасы
Полипропилен	Буып-түю, тұтыну тауарлары, құрылыс материалдары	9,8	Бір кезең	>370	Қысқа тізбекті алкандар және алкен
Тығыздығы жоғары полиэтилен	Тұтыну тауарлары, құрылыс материалдары	6,3	Бір кезең	>400	Парафинді балауыздар, алкандар, алкендер, диендер
Тығыздығы төмен полиэтилен	Азық-түлік қаптамасы, тұтыну тауарлары, пленкалар, жалпы мақсаттағы контейнерлер	8,8	Бір кезең	>400	Парафинді балауыздар, алкандар, алкендер, диендер
Полиэтилентер ефталат	Бөтелкелер, қаптамалар	4,0	Бір кезең	>300	СО, СО ₂ , кокс, бензой қышқылы, ацетальдегид, қысқа тізбекті алифатиктер, бензол, толуол, формальдегид
Поливинилхлорид	Құрылыс материалдары, электроника	5,1	Екі кезең	250-350 дегидрохлорлану, >350 одан әрі деградация	НСІ, кокс, ароматты қосылыстар
Полистирол	Қаптама, жылу оқшаулау, электроника	3,1	Бір кезең	>300	Стирол, стирол олигомерлері, ароматты қосылыстар
Полиамид	Талшықтар, маталар, техникалық компоненттер	≈1	Бір кезең	>350	СО ₂ , Н ₂ О, кокс, е-капролактан, нитрилдер, аминдер
Стирол сополимері	Тұтыну тауарлары, құрылыс материалдары	≈1	Бір кезең	>340	Стирол, бутадиен, акрилонитрил, ароматты, нитрил
Полиуретан	Оқшаулау, қаптау, матрацтар, жабындар, желімдер	4,0	Екі кезең	Тұжырымдамға тәуелді	Изоцианат, аминдер, эфирлер, спирттер, СО ₂ , HCN, NO _x , кокс

Материалдар мен әдістер

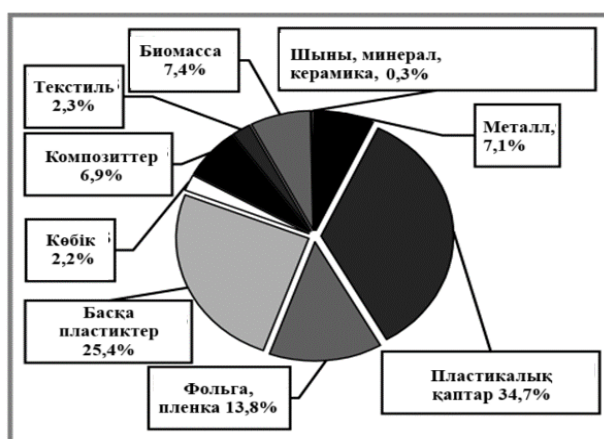
Зерттелген қалдықтар ағындары

Зерттелген шикізат қорлары пайда болуы, құрамы және көлемі Қаптаманы сұрыптаудың жеңіл қалдықтары (ҚСЖҚ), құрылыс қалдықтарын сұрыптаудың коммерциялық қалдықтары (КҚ), экструдталған полистирол негізіндегі сыртқы жылу оқшаулағыш композиттік жүйелер (ЭЖОКЖ), ұсақтағыштың жеңіл фракциясын (АҰҚ) механикалық өңдеуден алынған автоматты ұсақтағышының қалдықтары және электрлік және электронды қалдықтарды (ЭЭҚ) механикалық қайта өңдеуден алынған қалдықтар зерттелді. бойынша ең маңызды аралас пластикалық қалдықтар ағындарын білдіреді [2]. Барлық қалдықтар Германиядағы (ҚСЖҚ, КҚ, ЭЖОКЖ, ЭЭҚ) және Нидерландыдағы заманауи механикалық қайта өңдеу зауыттарынан келеді. 1-сурет қолмен сұрыптау талдауынан алынған, алынған жеңіл орауыш сұрыптау қалдықтарының құрамын көрсетеді. Әрбір шикізаттың элементтік құрамы, күл құрамы және төмен калориялылығы қойындыда көрсетіледі.

Барлық шикізат материалдары пластикалық қалдықтарды қайта өңдеудің тиісті механикалық процестеріне тән кесек мөлшерінде алынды. Осылайша, кондиционерлеу күші

әр шикізат үшін әр түрлі болды. Ұсақтауға болмайтын пластикалық бөлшектер, сондай-ақ макрокопиялық металл және керамикалық компоненттер қаптаманың жеңіл сұрыптау қалдықтарынан қолмен сұрыпталды. ЭЭҚ және ЭЖОКЖ шикізаты механикалық қайта өңдеу кезінде ұсақталған болатын. Гранулятор көмегімен (Retsch SM200) ҚСЖҚ, КҚ және АҰҚ шикізат материалдары бөлшектердің максималды мөлшері 6 мм-ге дейін азайтылды. Осы ұсақтаудан кейін шикізат кең көлемде қолмен араластыру арқылы біртектес болды. ЭЖОКЖ шикізат пиролиз реакторында пайдалану үшін масса мен көлемнің қолайсыз арақатынасына ие, сондықтан пеште кішірейтілген материалдың кеуектілігін төмендету үшін 120°C-тан 6 сағатқа дейін және көлемді тығыздықты арттыру үшін. Бұл температурада материалда айтарлықтай химиялық өзгерістер күтілмейді.

Ұсақталған ҚСЖҚ және біз ылғалды кетіру үшін пешке 105°C температурада кем дегенде 6 сағатқа қойдық. Зерттелетін қалдықтар ағындарының құрамы аймақтық, маусымдық, техникалық және кездейсоқ ауытқуларға ұшырайтынын атап өткен жөн.



Сурет 1 – Қолмен сұрыптауды талдау арқылы анықталатын, алынған жеңіл орауыш сұрыптау қалдықтарының кездейсоқ үлгісінің макрокопиялық құрамы

Пилоттық масштабтағы пиролиз эксперименттері

Пиролиз реакторы

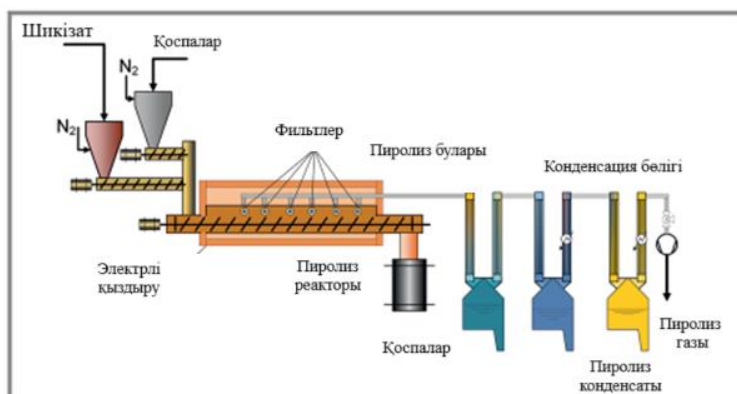
Пиролиз эксперименттері бұрын Томаси Моргано және т.б. сипаттаған КІТ Техникалық Химия Институтындағы пилоттық масштабтағы бұрандалы реактор жүйесін пайдалана отырып жүргізілді. [39, 40]. Оның құрамдас бөліктері 2-суретте көрсетілген.

Бұрандалы қоректендіргіштері бар екі қоректендіру бункері арқылы шикізат пен кварц құмы реакторға мөлшерленеді. Кәдімгі пластикалық қалдықтар үшін өткізу қабілеті шамамен 1 кг сағ⁻¹, ал кварц құмының өткізу қабілеті шамамен 4 кг сағ⁻¹ құрайды. Нәтижесінде реакторды толтырудың максималды деңгейі 30% құрайды. Шұңқырлы геометрияны құрайтын реактордың қабырғалары реактор бойындағы ұзындығы 2 м электрмен қыздырылады. Бірнеше термопаралар температураның жоғарылауын бақылайды. Реактор түбіндегі белгіленген температурадан максималды ауытқу барлық өлшеу нүктелерінде 10°C-тан аз. Реактордың максималды температурасы -550°C. бұранданың диаметрі 150 мм. реактордың соңында қатты пиролиз қалдықтары бункерге шығарылады. Пиролиз газдары мен булары реакция камерасынан керамикалық ыстық газды сүзгі элементтері арқылы алынады және сәйкесінше 60 және 5°C температурада екі сатыда жұмыс істейтін конденсация қондырғысына беріледі. Әрбір саты екі құбырлы жылу алмастырғышпен және электростатикалық тұндырғышпен жабдықталған. Реактор шамамен азот ағынымен үздіксіз шайылады. 19 л мин⁻¹ пиролиз газдары мен буларын жылдам шығару және онлайн аналитикалық жабдықты үздіксіз қамтамасыз ету үшін.

Қауіпсіздік мақсатында реактор шамамен 1 мбар шамалы теріс қысыммен реттеледі. Тұрақты пиролиз газдары газды талдаудың онлайн жүйесі арқылы өтеді және кейіннен алауға беріледі.

Кесте2 – Аралас пластик қалдықтарын алдын ала кондициялаудан кейін элементтік құрамы, күл мөлшері және төмен калориялық құндылығы

Қалдық	Күл (%)	C(%)	H (%)	N (%)	S (%)	Галоген(%)	O (%)	Төмен жану жылуы, МДж
ҚСЖҚ	10,6	58,5	7,5	<1	0,1	2,0	21,3	25
КҚ	9,2	74,7	8,8	<1	<0,05	3,3	3,9	34
ЭЖОКЖ	6,7	79,4	7,1	<1	<0,05	0,1	6,7	34
АҰҚ	13,5	68,0	8,6	1,8	0,2	0,9	6,9	31
ЭЭҚ	27,7	53,4	6,1	1,5	0,1	2,8	8,3	23



Сурет 2 – Бұрандалы пиролиз реакторы қоректендіру жүйесімен, ыстық газды сүзумен, қатты бункермен және пиролиз буларына арналған конденсация сатыларымен берілген

Тәжірибелік бөлім

Температура 450°C және қатты заттардың тұру уақыты шикізат өткізу қабілеті шамамен 30 мин. 1 кг сағ⁻¹ зерттелген шикізат қорларының бірыңғай анықтамалық негізі ретінде анықталды. Бір экспериментке шамамен 5 кг шикізат жұмсалды. Ешқандай қоспалар қолданылмады. Пластмассалар үшін тасымалдаушы және модератор ортасы ретінде қызмет ететін кварц құмы инертті деп есептелді.

Реактор эксперимент басталғанға дейін қажетті пиролиз температурасына дейін қызады және азотпен үздіксіз шайылады. Пластикалық шикізатқа құм шамамен 4-тен 1-ге дейінгі масса қатынасында қосылады. Ол шикізат үшін тасымалдаушы орта ретінде қызмет етеді және реактор арқылы жылу беруді және материалды тасымалдауды қолдайды. Шикізат реакторға енгізілгеннен кейін кем дегенде бірнеше 10°C мин⁻¹ қыздыру жылдамдығына ұшырайды. Тұру уақыты 30 мин. шикізат толығымен пиролизденуі және реактордың соңында реакцияға түспеген материал төгілмеуі үшін жеткілікті ұзақ. Тәжірибе барысында газдың тұрақты көлемінің шығыны мен негізгі газ түрлері үздіксіз өлшенеді. Пиролиз конденсаттары конденсацияның тиісті кезеңдерінде жиналады, әр эксперимент аяқталғаннан кейін өлшенеді және әрі қарай талданады. Сулы және майлы конденсат фазасы фазалық бөліну негізінде ажыратылады. Олар бөлгіш шұңқырмен қолмен алынады. Эксперименттің соңында көмір бункеріне берілетін пиролиздің қатты заттары да өлшенеді. Әрбір эксперименттік жүгіру басынан аяғына дейін толығымен теңдестірілген [35-39].

Аналитикалық Әдістер

CO, CO₂, CH₄ және O₂ тұрақты газ түрлері пиролиз процесінің тұрақты күйін бақылау үшін инфрақызыл және парамагниттік детекторлармен (Gasmeter CX400, Siemens OXYMAT 6, Emerson XStream) онлайн режимінде талданады. Жалынды иондау детекторы (Siemens FIDAMAT 5E-E) – бұл көмірсутектердің жалпы құрамын өлшеу үшін қолданылады. Көлемдік ағын, төменгі жылу және тығыздық өлшенеді. Сонымен қатар, жылу өткізгіштік детекторы және жалын иондану детекторы (GC-TCD/FID, Agilent 7890b, HP 5890 II сериясы) бар газ хроматографында офлайн талдау үшін газ сынамалары алынады. Пиролиз газының түрлері осы GC талдаулары арқылы анықталады және сандық түрде анықталады.

Сұйық өнімдер элементтік арқылы сипатталады судың құрамын талдау және Карл Фишердің титрлеуі. Майлы фазаны GC-FID (Agilent 7890B, HP) талдайды 5890 II сериясы). Сұйық қосылыстардың көптігіне байланысты, GC-FID-де сандық анықтау «индикаторлық

қосылыстар» үшін жүзеге асырылады, атап айтқанда n-алкандар және 1–алкендер тізбектің ұзындығымен C₅-C₂₁ сонымен қатар ароматты түрлер бензол, толуол, этилбензол, p-ксилен, o-ксилен, стирол, және фенол.

Массалық тепе-теңдікті есептеу үшін газ фракциясының көлемдік ағыны мен тығыздығы, сондай-ақ қатты және сұйық өнім фракцияларының салмақтары қолданылады.

Тәжірибелер кезінде реактордың энергияға қажеттілігі үздіксіз бақыланады. Әрбір эксперимент үшін анықталған энергияға деген қажеттілік тек кварц құмымен жұмыс істейтін энергияға деген сұраныспен түзетіледі. Осылайша, құмды жылытуға жұмсалған жылу шығыны мен энергияның орнын толтыру баланстан шығарылады. Конденсация қондырғысы энергия балансынан да шығарылады. Осылайша анықталған энергияға деген қажеттілік тек шикізатты қыздыру, химиялық реакцияны балқыту, булану және газ түрлерін қатты қыздыру процестеріне жұмсалатын энергияны ғана көрсетеді [40].

Нәтижелер және талқылау

Масса баланстары

Пиролиз өнімінің жеке фракцияларының шығымы әр түрлі болады шикізаттың сипаттамалық құрамына байланысты. Белгілі бір шикізат қорында ол жемге әсер ететін біртектілікке, сондай-ақ өлшеу белгісіздігіне байланысты өзгереді. Пиролиз ерітінділерінің шығымы 10-нан 30%-ға дейін. Өнімнің бұл фракциясы пластмассалардың функционализациясынан және қалдықтардың ластануынан пайда болатын кокс және инертті материалдардан тұрады. Осылайша, қатты заттардың шығымдылығын түсіндіру кезінде шикізаттың күл құрамын ескеру қажет.

Пиролизденген шикізат массасының 40-тан 75%-ға дейін майлы конденсат түрінде кездеседі. Жылу оқшаулау жүйесі шикізат конденсаттың ең жоғары шығымдылығын көрсетеді, Ал ЭЭҚ және жеңіл қаптамаларды сұрыптау қалдықтарынан алынған майлы конденсаттың шығымы ең төмен болып табылады.

Шикізаттың 5%-ға дейін сулы фаза жүреді екінші конденсат фазасы ретінде. Пиролиз кептірілген шикізатпен жүргізілетіндіктен, реакторға химиялық байланысы жоқ суды сулы заттардың көзі ретінде енгізу пиролиз фракциясы төмен. Сулы конденсат осылайша құрамында оттегі бар пластмассаларға немесе биомассаның ластануына байланысты. АҰҚ және пиролиз эксперименттері инженерлік пластмассалардың күтілетін құрамымен ЭЭҚ сондай-ақ биомассамен ластанған ҚСЖҚ сулы өнімнің көбірек бөлінуін көрсетеді және осылайша мұны болжам растайды.

Тұрақты газ фракциясы 13-тен 30%-ға дейін құрайды жалпы массасы. Әдетте, нақты қалдықтармен осы пилоттық масштабтағы эксперименттер үшін массаның тепе-теңдігін жабуға болады. Ауытқулар нәтижесі реактордағы және конденсация қондырғысындағы шөгінділерден, сондай-ақ өлшеудегі дәлсіздіктерден есептеледі.

Энергия баланстары

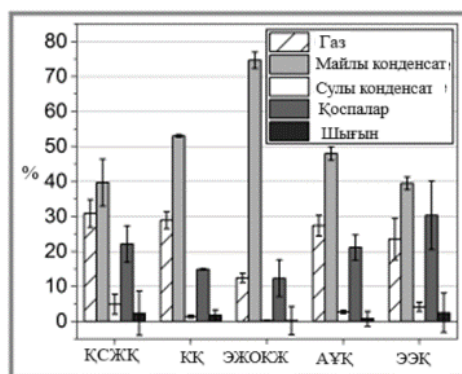
Эксперименттік қондырғы шешуге мүмкіндік бермейді сингулярлық фаза және материалды түрлендіру процестері. Зерттелген шикізат пластмассалар мен басқа материалдардың қоспасы болғандықтан, құрамындағы полимерлердің энергияға деген қажеттілігі тұрғысынан әсері туралы егжей-тегжейлі мәлімдемелер жасау мүмкін емес. Осылайша, анықталған энергия баланстары техникалық сипатта болады және қолданбалы контексте өзекті болып табылады.

Пиролиз эксперименттерінде анықталған қыздыруға, балқытуға, пиролизге және булануға арналған энергия талаптары ҚСЖҚ шикізаттың төменгі калориялық құндылығын қолдану арқылы қалыпқа келтірілген. Олар ҚСЖҚ үшін 5,1%, КҚ үшін 5,2%, ЭЖОЖЖ үшін 4,9%, АҰҚ үшін 5,4% және ЭЭҚ үшін 3,7% құрайды және осылайша тар шеңберде ауқымы. Техникалық процесте жылу шығыны мен қосалқы инфрақұрылымның энергияға деген қажеттілігі осы мәндерді арттырады.

Өнімдерді талдау

Газ тәрізді өнімдер

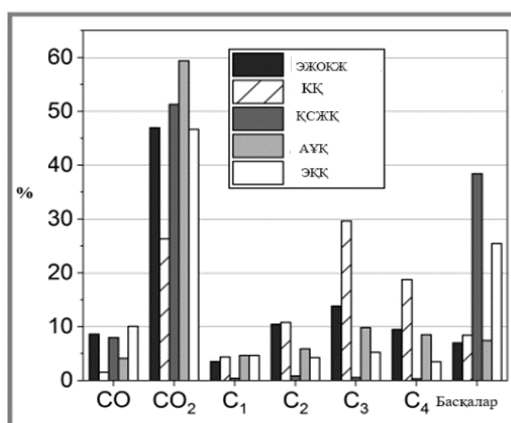
Барлық шикізат қорлары үшін көміртегі тотығы мен көмірқышқыл газы пиролиз газының негізгі компоненттері болып табылады. Газ массасының шамамен 60%-ы осы қосылыстарға жатады. Тек КҚ жағдайында көмірқышқыл газы мен көміртегі тотығы пиролиз газының едәуір аз үлесін шамамен 30% құрайды. Бұл туысқа байланысты шикізаттың тазалығы және оның құрамында химиялық байланысқан оттегінің аздығы. Алайда, бұл өте маңызды екенін атап өткен жөн шикізатқа байланысты тұрақты газдың әр түрлі мөлшері түрінде түзіледі (3-сурет).



Сурет 3 – Әр түрлі шикізатпен пиролиз эксперименттері үшін орташа массалық қалдықтар 450°C және 30 мин жағдайында алынды.

Пиролиз кезінде газ тәрізді көмірсутектер түзіледі. Таралуы шикізатқа байланысты өзгеріп отырады. ЭЖОКЖ-ның пиролизінен шыққан тұрақты газдарда қысқа тізбекті көмірсутектер жоқтың қасы. Барлық басқа шикізаттар үшін әр түрлі қарқындылықтағы пропан мен пропан (C_3) үшін максимум бар. Коммерциялық шикізат қалдықтарынан алынған пиролиз газдары полиолефинді пластмассалар үшін күтілгендей пропан мен бутан концентрациясының жоғарылауын көрсетеді.

Белгісіз газ компоненттері «басқалар» ретінде 4-суретте берілген. Кіріс материалдарынан сутегі хлориді, галогенделген көмірсутектер, ұшпа азот және күкірт қосылыстары сияқты газдар бөлінуі мүмкін. Конденсация сатысына байланысты конденсаторлардың тұрақты газ фазасына қосымша тасымалдануы жүреді.

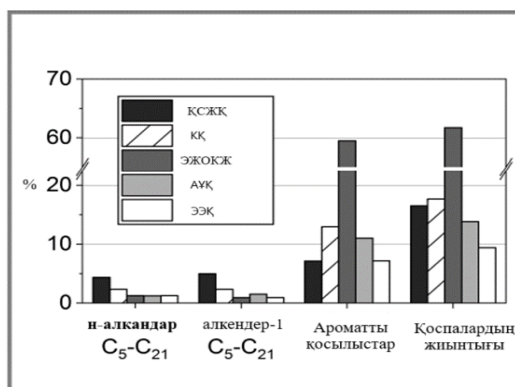


Сурет 4 – Пиролиз газдарындағы анықталған түрлер пиролиз эксперименттері үшін әр түрлі шикізатпен 450°C және 30 мин қатты заттардың тұру жағдайында алған.

Конденсацияланған өнімдер

Майлы конденсаттардың газ хроматографиялық талдауларының нәтижелері 5-суретте берілген. Конденсаттың барлық компоненттері қамтылмағанымен, талдаулар әртүрлі шикізат қорларындағы конденсаттар арасындағы айқын айырмашылықтарды көрсетеді. ҚСЖҚ пиролизінен алынған конденсатта n-алкандар мен 1-алкендерді, сондай-ақ ароматты қосылыстарды анықтауға болады. Барлығы конденсат массасының шамамен 20%-ды құрайтыны анықталды.

Коммерциялық қалдықтардан пиролиз конденсатында, n-алкандар мен 1-алкендер шамамен бірдей мөлшерде пропорциялар болады. Жалпы конденсат массасының шамамен 13%-ында ароматты қосылыстардың мөлшері анықталған алифатты көмірсутектерге қарағанда едәуір жоғары. Стирол, этилбензол және толуол-ең көп таралған қосылыстар. Полистиролдың сипаттамалық ыдырау өнімдері ретінде олар шикізаттағы полистиролдың болжамды маңызды құрамын көрсетеді. Конденсат массасының жалпы 18% - ын компонентке тағайындауға болады. Сондықтан изометриялық және ұзын тізбекті өнімдердің мөлшері тауарлық қалдықтардың пиролизінде де маңызды.



Сурет 5 – Мұнай пиролизінің конденсаттарындағы анықталған түрлер пиролиз эксперименттері үшін әр түрлі шикізатпен 450°C және 30 мин жағдайында алынған,

Полистирол негізіндегі ЭЖОКЖ негізінен ароматты қосылыстар конденсаттарды береді. Стирол мономері конденсат массасының шамамен 50% құрайтын негізгі компонент болып табылады. Ароматты қосылыстар компоненттермен салыстырғанда n-алкандар мен алкендердің-1 үлесі төмен.

Автокөлік ұсақтағыш қалдықтарының конденсаттарында, сол сияқты, алифатты индикатор қосылыстарының аз ғана пропорциялары ғана кездеседі. Толуол, этилбензол, стирол және әсіресе фенол көп мөлшерде анықталды. Индикаторлық қосылыстар жалпы конденсат массасының 11% құрайды. Жалпы алғанда, конденсат массасының 14%-ын қосылысқа жатқызуға болады. Автомобиль ұсақтағышының фракциясының пиролизі осылайша күрделі конденсат береді. Бұл шикізаттың құрамына, оның ішінде функционалдану дәрежесі жоғары пластмассалардың әртүрлі түрлеріне байланысты. Әр түрлі инженерлік пластмассалар конденсаттың күрделі құрамынан көрінеді. Майлы конденсаттағы азот мөлшері 2,5 %, галоген мөлшері 0,4% және күкірт мөлшері 0,1% шикізаттағы функционалды және инженерлік пластмассаларды одан әрі меңзейді.

ЭҚҚ шикізаты сонымен қатар функционалды инженерлік пластмассалардың қоспасы болып табылады. Фенол, стирол, этилбензол, толуол концентрациясы n-алкандар мен 1-алкендердің көрсеткіштерімен салыстырғанда едәуір жоғарылайды. Жалпы алғанда, ЭҚҚ конденсаты үшін жалпы массаның тек 9%-ын анықтауға болады, бұл оның күрделілігін көрсетеді.

Жалпы алғанда, жүргізілген талдаулармен қамтылмаған изомерлердің, құрамында гетероатомы бар компоненттердің және молекулалық салмағы жоғары түрлердің елеусіз мөлшерін күту керек. Кешенді элементтік талдау жүргізілген жоқ. Мұнда көрсетілген техникалық масштабтағы эксперименттерден алынған пиролиз өнімдерінің таралуы мен құрамы изомеризация және рекомбинация сияқты қайталама реакцияларға байланысты зертханалық масштабтағы эксперимент нәтижелерінен белгілі бір дәрежеде ауытқиды деп болжауға болады.

Қатты өнімдер

Кокс және инертті пиролиз өнімдерінен тұратын пиролиздің қатты денелері әдетте ұсақ түйіршікті және қосылған кварц құмымен біртекті түрде араласады. Пиролиз ерітінділерінің құммен сұйылтылуына байланысты егжей-тегжейлі талдаулар жүргізу оңай емес. Қатты қалдықтың құрамында металл және керамикалық компоненттер, мысалы, композициялық материалдардан және полимерлі толтырғыштар. Алынған қатты пиролиз өнімдерін фракциялау және егжей-тегжейлі зерттеу тақырыбы болған жоқ мұнда ұсынылған талдаулар.

Көміртектің шығымы

Пластикалық қалдықтарды химиялық қайта өңдеу жағдайында көміртегі ілмегін жабу ерекше қызығушылық тудырады. Көміртектің шығымдылығы шикізаттық көміртекке қатысты қайта өңдеуге болатын көміртектің мөлшерін білдіреді. Мұнда көміртектің шығымы тек майлы конденсаттағы көміртекті ескере отырып анықталды. Осы мақсатта конденсаттардың көміртегі мөлшері элементтік талдау арқылы анықталды және мұнай шығымдылығымен біріктірілді. Жұмыс істейтін эксперименттік қондырғы үшін қатты және газ фазалары үшін көміртекті теңестіру құм мен азотпен қатты сұйылтуға байланысты қиын, бұл көміртектің жан-жақты тепе-теңдігін болдырмайды. Ауқымды пиролиз қондырғысының орналасуына және егжей-тегжейлі

дизайнына байланысты конденсат фазасындағы көміртектен басқа, атап айтқанда, газ фазасындағы көміртекті де ішінара қайта өңдеуге болады. Демек, мәлімделген көміртегі шығымдылығын қайта өңдеудің ең төменгі көрсеткіштері ретінде түсіну керек. Көміртегі өнімділігі ҚСЖҚ үшін 51,1%, КҚ үшін 60,0%, ЭЖОКЖ үшін 74,6%, АҰҚ үшін 57,5% және ЭҚҚ үшін 60,5%-ын құрайды. Газдағы тотыққан көміртекті түрлердің құнын жеке бағалау керек сондай-ақ, пиролиз параметрлеріне қатысты шикізатқа тәуелді оңтайландыру жүргізілмегенін атап өткен жөн.

Енгізілген көміртектің кем дегенде 50%-ы майлы фазада қалпына келтіріледі және осылайша негізінен құн тізбегіне қайта енгізу үшін қол жетімді. Құрамында тек полистирол бар ЭЖОКЖ үшін шикізат көміртегінің шамамен 75%-ы майлы конденсатта болады. Пиролиз өнімдерінің құн тізбегінің реинтеграциясының потенциалы қалдықтардың әр түрі үшін нақты құрамы бойынша жеке бағалануы керек.

Қорытынды

Аралас пластик қалдықтарын пиролиз әдісімен химиялық қайта өңдеуге арналған негізгі массалық және энергетикалық баланстар анықталды. Шикізатты қайта өңдеуге арналған өнімдерді барлық зерттелген пластикалық қалдықтардан алуға болады. Өнімнің сапасы көбінесе шикізатқа байланысты. Жылытуға, балқытуға, пиролизге және булануға арналған энергияға деген қажеттілік шикізаттың калориялық құндылығының шамамен 5%-ды құрайды. Шикізат көміртегінің 50-ден 75%-ға дейін конденсатта қалпына келтірілуі және химия өнеркәсібіндегі құн тізбегіне қайта енгізілуі мүмкін. Шикізатқа тәуелді пиролиз параметрлерін оңтайландыру, сондай-ақ ластаушы заттарды кетіруге арналған қоспаларды қолдану өнімді өңдеуден кейінгі күш-жігерді азайту үшін мұнай өнімінің шығымдылығы мен сапасын одан әрі жақсартуы мүмкін. Гетероатомды өнімдерді тарату және жою одан әрі зерттелуі керек.

Әдебиеттер тізімі

1. https://www.plasticseurope.org/download_file/force/4261/181 (Accessed on April 26, 2021).
2. Lindner C. Conversion Market & Strategy / C. Lindner, J. Schmitt, J. Hein // GmbH Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019. – 2020.
3. Stapf D. Wexler, in Energie aus Abfall / D. Stapf, H. Seifert, M. Wexler // Neuruppin. – 2019. – Vol. 16.
4. Chemisches Recycling von gemischten Kunststoffabfällen als ergänzender Recyclingpfad zur Erhöhung der Recyclingquote / A. Lechleitner et al // O' 'sterr. Wasser- und Abfallwirtsch. – 2020. – № 72(1-2). – P. 47-60. <https://doi.org/10.1007/s00506-019-00628-w>.
5. Evaluierung unter Realbedingungen von thermisch-chemischen / M. Seitz et al // Depolymerisations- technologien (Zersetzungsverfahren) zur Verwertung von Kunststoffabfällen, 1st Ed., Steinbeis-Edition, Stuttgart/ – 2020.
6. Aboulkas A. Energy Convers / A. Aboulkas, K. El harfi, A. El Bouadili // Manage. – 2010. – № 51(7), 1363-1369. 10.1016/ j.enconman.2009.12.017
7. A. Anene, S. Fredriksen, K. Sætre, L.-A. Tokheim, Sustainability 2018, 10 (11), 3979–3990. <https://doi.org/10.3390/ su10113979>.
8. Pyrolysis / H. Bockhorn et al // J. Anal. Appl. – 1999. – № 48(2). – P. 93-109. [https://doi.org/10.1016/ S0165-2370\(98\)00131-4](https://doi.org/10.1016/ S0165-2370(98)00131-4).
9. W.P.M. van Swaaij / R.W.J. Westerhout et al // Ind. Eng. Chem. Res. – 1997. – № 36(6). – P. 1955-1964. <https://doi.org/10.1021/ie960501m>
10. J.A. Conesa, A. Marcilla, R. Font, J.A. Caballero // J. Anal. Appl. Pyrolysis. – 1996. – № 36(1). – P. 1-15. [https://doi.org/10.1016/0165- 2370\(95\)00917-5](https://doi.org/10.1016/0165- 2370(95)00917-5).
11. Characteristics and kinetics of the gas releasing during oil shale pyrolysis in a micro fluidized bed reactor // J. Ceamanos et al // J. Anal. Appl. Pyrolysis. – 2002. – № 65(2), P. 93-110. [https://doi.org/10.1016/S0165- 2370\(01\)00183-8](https://doi.org/10.1016/S0165- 2370(01)00183-8).
12. Contat-Rodrigo L. A comparison of the biocompatibility of phosphate-buffered saline and dianeal 3.86% in the rat model of peritoneal dialysis / L. Contat-Rodrigo, A. Ribes-Greus, C. T. Imrie // J. Appl. Polym. Sci. – 2002. – № 86(3). – P. 764-772. <https://doi.org/10.1002/ app.10974>.
13. Wu T.-M. Preparation and characterization of thermoplastic vulcanizate/silica nanocomposites / T.-M. Wu, M.-Sh. Ch. // J. Appl. Polym. Sci. – 2005. – № 98(3), 1172–1179. <https://doi.org/10.1002/app.22124>.

14. Membrane-Bound Hydrogenase I from the Hyperthermophilic Bacterium *Aquifex aeolicus*: Enzyme Activation, Redox Intermediates and Oxygen Tolerance / M. Artetxe et al // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2010. – № 49(5). – P. 2064-2069. <https://doi.org/10.1021/ie900557c>.
15. Analysis of recycled PET bottles products by pyrolysis-gas chromatography / N. Dimitrov et al // *Polym. Degrad. Stab.* – 2013. – № 98(5). – P. 972-979. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.02.013>.
16. Dzieciol M., Trzeczynski J. // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2000. – № 77(9). – P. 1894-1901. [https://doi.org/10.1002/1097-4628\(20000829\)77](https://doi.org/10.1002/1097-4628(20000829)77).
17. Holland B.J. The value and limitations of non-isothermal kinetics in the study of polymer degradation / B.J. Holland, J.N. Hay // *Thermochim. Acta.* – 2002. – № 388(1-2). – P. 253-273. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(02\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(02)00034-5).
18. Jenekhe S.A. Kinetics of the thermal degradation of polyethylene terephthalate / S.A. Jenekhe, J.W. Lin, B. Sun // *Thermochim. Acta.* – 1983. – № 61(3). – P. 287-299. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(83\)80283-4](https://doi.org/10.1016/0040-6031(83)80283-4).
19. R. Kinoshita, Y. Teramoto, T. Nakano, H. Yoshida // *J. Therm. Anal.* – 1992. – № 38(8). – P. 1891-1900. <https://doi.org/10.1007/BF01974683>.
20. M. Mehl, A. Marongiu, T. Faravelli, G. Bozzano, M. Dente, E. Ranzi // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 2004. – № 72(2). – P. 253-272. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.07.007>.
21. J. Yu, L. Sun, C. Ma, Y. Qiao, H. Yao // *Waste Manage.* – 2016. – № 48. – P. 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.041>.
22. Bouster C. Evolution of the product yield with temperature and molecular weight in the pyrolysis of polystyrene / C. Bouster, P. Vermande, J. Veron // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 1989. – № 15. – P. 249-259. [https://doi.org/10.1016/0165-2370\(89\)85038-7](https://doi.org/10.1016/0165-2370(89)85038-7).
23. Thermal degradation of polystyrene / T. Faravelli et al // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 2001. – № 60(1). – P. 103-121. [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(00\)00159-5](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(00)00159-5).
24. S. Lochner, *Pyrolyse von Polystyrol*, Dissertation, Universität Karlsruhe 2001. <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/3212001>.
25. I.C. McNeill // *Angew. Makromol. Chem.* – 1997. – № 247(1). – P. 179-195. <https://doi.org/10.1002/apmc.1997.052470112>.
26. P.D. Zeman // *Nature.* – 1953. – № 171(4348). – P. 391-392. <https://doi.org/10.1038/171391a0>.
27. B.J. Holland, J.N. Hay // *Polym. Int.* – 2000. – № 49(9). – P. 943-948. [https://doi.org/10.1002/1097-0126\(200009\)49:93.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/1097-0126(200009)49:93.0.CO;2-5).
28. S.V. Levchik, E.D. Weil // *M. Lewin, Polym. Int.* – 1999. – № 48(7). – P. 532-557. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0126\(199907\)48:73.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0126(199907)48:73.0.CO;2-R).
29. I. Luderwald, C. Aguilera // *Makromol. Chem. Rapid Commun.* – 1982. – № 3(5). – P. 343-347. <https://doi.org/10.1002/marc.1982.030030516>.
30. S. Strauss, L.A. Wall // *J. Res. Natl. Bur. Stand.* – 1958. – № 60(1). – P. 39-45.
31. K.-H. Lee, D.-H. Shin, Y.-H. Seo, Korean // *J. Chem. Eng.* – 2006. – № 23(2). – P. 224-229. <https://doi.org/10.1007/BF02705720>.
32. M. Suzuki, C. A. Wilkie // *Polym. Degrad. Stab.* – 1995. – № 47(2). – P. 217-221. [https://doi.org/10.1016/0141-3910\(94\)00122-O](https://doi.org/10.1016/0141-3910(94)00122-O).
33. Wilson J.R. *Pyrolysis of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) Under High Heat Flux Conditions* / J.R. Wilson // *M.Sc. Thesis*, Utah State University (Logan). – 2013.
34. D.K. Chattopadhyay, D.C. Webster // *Prog. Polym. Sci.* – 2009. – № 34(10). – P. 1068-1133. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.06.002>.
35. M. Herrera, *Untersuchung flüchtiger Verbindungen bei der thermischen Zersetzung von stickstoffhaltigen Polymerwerkstoffen*, Dissertation, Technische Universität München. – 2000.
36. Lattimer R.P. Low-temperature pyrolysis products from a polyether-based urethane / R.P. Lattimer, R.C. Williams // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 2002. – № 63(1). – P. 85-104. [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(01\)00143-7](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(01)00143-7).
37. M. Ravey, E. M. Pearce // *J. Appl. Polym. Sci.* – 1997. – № 63(1). – P. 47-74. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19970103\)63:13.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19970103)63:13.0.CO;2-S).
38. Doering E. Dehli, *Grundlagen der technischen Thermodynamik: Lehrbuch für Studierende der Ingenieurwissenschaften* / E. Doering, H. Schedwill, M. Dehli // 8th ed., Springer, Berlin. – 2016.
39. M. Tomasi Morgano, H. Leibold, F. Richter, H. Seifert // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 2015. – № 113. – P. 216-224. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.12.019>.
40. M. Tomasi Morgano, H. Leibold, F. Richter, D. Stapf, H. Seifert // *Waste Manage.* – 2018. – № 73. – P. 487-495. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.049>.

**Н.Н. Нургалиев^{1*}, А.Ж. Акимжанов¹, Е.П. Евлампиева¹, Р.Т. Динжуманова²,
Д.Ж. Бекчанов³**

¹Университет имени Шакарима города Семей,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул.Глинки, 20

²Медицинский университет города Семей,
071400, Республика Казахстан, г.Семей, ул.Абая, 103

³Национальный университет Узбекистана имени Мирза Улыкбека,
100174, Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул.Университетская, 4

*e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz

ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ПИРОЛИЗА

Химическая переработка пластиковых отходов может стать полезным дополнением к механической переработке для достижения требуемых темпов переработки пластмасс и создания климатически нейтральной и ресурсосберегающей экономики замкнутого цикла. Различные смешанные пластиковые отходы, подлежащие переработке в будущем, исследуются в полностью однородных условиях промежуточного пиролиза, характеризующихся умеренными скоростями нагрева и температурами пиролиза. Определены распределение продукта и выбранные свойства продукта, получен массовый и энергетический баланс процесса. Выход и состав продукта во многом зависят от пиролизированных остатков. Все результаты показывают, что пиролиз является подходящим процессом для получения химического сырья из различных сложных смешанных пластиковых отходов. Определены основные массовый и энергетический балансы химической переработки смешанных пластиковых отходов методом пиролиза. Продукты переработки сырья можно получить из всех исследованных пластиковых отходов. Качество продукции часто зависит от сырья. Затраты энергии на нагрев, плавление, пиролиз и испарение составляют около 5% от теплотворной способности сырья. Было продемонстрировано, что от 50 до 75% необработанного углерода можно извлечь из конденсата и повторно ввести в производственно-сбытовую цепочку химической промышленности.

Ключевые слова: пластиковые отходы, вторичная переработка, пиролиз, экономика замкнутого цикла, окружающая среда.

**N.N. Nurgaliyev^{1*}, A.Zh. Akimzhanov¹, Y.P. Yevlampiyeva¹, R.T. Dinzhumanova²,
D.Zh. Bekchanov³**

¹Shakarim university of Semey,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey city, Glinki street, 20

²Medical university of Semey,
071400, Republic of Kazakhstan, Semey city, Abay street, 103
National university Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,
100174, Republic of Uzbekistan, Tashkent city, University street, 4

*e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz

RECYCLING OF PLASTIC WASTE BY THE PYROLYSIS METHOD

Chemical recycling of plastic waste can be a useful complement to mechanical recycling to achieve the required rate of plastics recycling and create a climate-neutral and resource-saving circular economy. Various mixed plastic wastes to be recycled in the future are investigated under fully uniform intermediate pyrolysis conditions characterized by moderate heating rates and pyrolysis temperatures. The distribution of the product and the selected properties of the product are determined, and the mass and energy balance of the process is obtained. Product yield and composition are highly dependent on pyrolyzed residues. All results indicate that pyrolysis is a suitable process for obtaining chemical feedstocks from various complex mixed plastic wastes. The main mass and energy balances for chemical recycling of mixed plastic waste by pyrolysis method were determined. Products for recycling raw materials can be obtained from all investigated plastic waste. Product quality often depends on raw materials. The energy requirement for heating, melting, pyrolysis and evaporation is about 5% of the calorific value of the raw material. It has been demonstrated that 50 to 75% of the raw carbon can be recovered in the condensate and reintroduced into the value chain in the chemical industry.

Key words: plastic wastes, recycling, pyrolysis, circular economy, environment.

Авторлар туралы мәліметтер

Нұржан Нұрлыбекұлы Нұрғалиев^{*} – PhD, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, «Химия және экология» кафедрасы; e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

Асхат Жұмағалиұлы Акимжанов – инженер-механик, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті; e-mail: agregataa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4244-9629>.

Елена Петровна Евлампиева – б.ғ.к., Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, «Химия және экология» кафедрасы; e-mail: elena_semei@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1953-3686>.

Раушан Тлеуғазықызы Динжуманова – х.ғ.к, доцент Семей қаласының Медицина университеті; e-mail: raushan.dinzhumanova@smu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8730-2404>.

Давронбек Жұмазарұлы Бекчанов – х.ғ.д., профессор Мырза Ұлықбек атындағы Өзбекстан ұлттық университеті; e-mail: bekchanovdj@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8065-9651>.

Сведения об авторах

Нуржан Нурлыбекович Нургалиев* – PhD, ст.преподаватель кафедры химии и экологии, Университета имени Шакарима; e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

Асхат Жұмағалиұлы Акимжанов – инженер-механик, Университета имени Шакарима; e-mail: agregataa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4244-9629>.

Елена Петровна Евлампиева – к.б.н., кафедры химии и экологии, Университета имени Шакарима; e-mail: elena_semei@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1953-3686>.

Раушан Тлеуғазықызы Динжуманова – к.х.н, доцент, Медицинский университет города Семей, e-mail: raushan.dinzhumanova@smu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8730-2404>.

Давронбек Жұмазарұлы Бекчанов – д.х.н., профессор Национального университета Узбекистана имени Мырза Улықбека; e-mail: bekchanovdj@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8065-9651>.

Information about the authors

Nurzhan Nurlybekovich Nurgaliyev* – PhD, Shakarim university, department of «Chemistry and ecology»; e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

Askhat Zhumagaliyevich Akimzhanov – engineer-mechanic, Shakarim university; e-mail: agregataa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4244-9629>.

Yelena Petrovna Yevlampiyeva – cand.biol.sci., Shakarim university, department of «Chemistry and ecology»; e-mail: elena_semei@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1953-3686>.

Raushan Tleugazykyzy Dinzhumanova – cand.chem.sci, assoc.professor Medical university of Semey; e-mail: raushan.dinzhumanova@smu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8730-2404>.

Davrombek Zhumazaruly Bekchanov – doct.chem.sci., professor National university of Uzbekistan named after Nirzo Ulugbek; e-mail: bekchanovdj@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8065-9651>.

Редакцияға енуі 07.09.2024

Өңдеуден кейін түсуі 13.09.2024

Жариялауға қабылданды 18.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-46](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-46)

MPHTI: 31.27.21



**Л.К. Қажыгелдиева¹, Б.Х. Мусабаева^{1,2*}, А.У. Исаева^{1,3}, А.Н. Сабитова¹,
Б.М. Силыбаева^{1,4}**

¹Университет имени Шакарима города Семей,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

²Международный университет Астана,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, пр. Кабанбай батыра, 8

³Шымкентский университет,
160031, Республика Казахстан, г. Шымкент, ул. Жибек жолы, 131

⁴Alikhan Bokeikhan University,
071400, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Мәңгілік ел, 11

*e-mail: mussabayevabinur@gmail.com

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА ДИКОРАСТУЩЕГО ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТЕНИЯ *Salicornia europaea* L., ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО ОБЛАСТИ АБАЙ

Аннотация: В статье приведены результаты исследования наземной части растения *Salicornia europaea* L., произрастающего в области Абай. Проведен элементный анализ растительного сырья, определено содержание общего углерода, органического углерода, азота и серы. Получен спиртовой экстракт растительного сырья в аппарате Сокслета. Экстракт отфильтровали и использовали для химического анализа. Качественными реакциями обнаружено