

Гудронды озон-ау қоспасымен тотықтырып битум алу процесін зерттеу

Е.К. Онгарбаев^{1,2}, Д.Б. Әбдіхан^{1,2}, А.Р. Кенжеғалиева², А.Б. Жамболова²,
Е.Ә. Аққазин^{2,3}, Н.Н. Несипбаева³

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан

²Жану проблемалары институты, Бөгенбай батыр көшесі, 172, Алматы, Қазақстан

³Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Достық даңғылы, 13, Алматы, Қазақстан

АНДАТПА

Мұнай өңдеу өнеркәсібінің өзекті мәселелерінің бірі – мұнай битумын алу процесінің қарқындылығын арттыру. Бұл мақсатта тотықтырғыш ретінде қолданылатын ауаны беру тиімділігін арттыру, қондырғы конструкциясын жетілдіру тәсілдері ұсынылған. Бұл жұмыста мұнайдың ауыр қалдығы – гудроннан битум алу үшін тотықтырғыш ретінде озон-ауа қоспасы ұсынылып, битум алу процесі зерттелді. Битум алу шикізаты ретінде «Павлодар мұнай химия зауыты» ЖШС гудроны қолданылды. Гудронды тотықтыру процесі 240-260 °C температура аралығында 2-4 сағат бойы жүргізілді. Озон-ауа қоспасындағы озонның мөлшері 90%, қоспаның шығыны – 1 кг шикізатқа есептегенде 5 л/мин болды. Гудрон және оны тотықтыру өнімдерінің 25 °C-тағы иненің ену тереңдігі, жұмсару температурасы, жоғалту бұрышының тангенсі анықталып, процесс уақытына және температураға тәуелділіктері алынды. Тотықтыру өнімдерінің жұмсару температурасының максималды және иненің ену тереңдігінің минималды мәндері байқалатын 250 °C процестің оңтайлы температурасын көрсетті. Гудронды 4 сағат тотықтыру өнімінің тұтқыр серпімді күйден сұйық күйге ауысу температурасының мәні бастапқы гудронмен салыстырғанда 16,4 °C-қа жоғарылады. Тотығу өнімдерінің сипаттамалары ҚР СТ 1373-2013 стандарты бойынша талаптармен салыстырылып, БНД 70/100 маркасына сай келетіндігі анықталды. Тотықтырғыш ретінде ауамен бірге озонды пайдалану тотығу процесінің ұзақтығын 4 сағатқа дейін қысқартты.

Түйін сөздер: гудрон, битум, озон-ауа қоспасы, тотықтыру, мұнайдың ауыр қалдықтары

1. Кіріспе

Битум – көп тонналы мұнай өнімдерінің бірі, оның негізгі тұтынушысы – жол құрылысы. Тотықтырылған битум мұнайдың ауыр қалдығы – гудронды 250-270 °C температурада 6-12 сағат бойы ауамен тотықтыру арқылы өндіріледі. Өндірістің кемшілігі – тотықтыру ұзақтығы 12 сағатқа дейін созылады, тотықтырғыш агент – ауадағы оттегі қалдық газдармен бірге бөлініп, толық жұмсалып үлгермейді.

Тотықтырылған битум өндірісін жетілдірудің болашағы бар бағытына тотығу процесінің ұзақтығын қысқартатын және ауа шығынын азайтатын фазааралық бетті және дисперстілікті ұлғайту арқылы битум шикізаты – гудронды белсендіру жатады.

Тотықтырғыш ретінде озон-ауа қоспасын қолдану арқылы да гудронның тотығу процесін жеделдетуге қол жеткізуге болады. Битум өндірісінде озон-ауа қоспасымен тотықтыру жүргізілмейді, оны тотықтырғыш ретінде қолдану атомдық оттегінің түзілуімен процесті тездетеді.

Озон ароматты және құрамында күкірті бар қосылыстармен белсенді әрекеттеседі [1]. Озондау өнімдері 120 °C-тан жоғары температурада жеңіл бұзылады. Олар битумның жоғары қайнайтын компоненттерінің крекинг процестерін қоса алғанда, радикалды тізбекті реакциялардың бастамашысы рөлін атқаруға қабілетті.

Мұнайды қайта өңдеу процестерін белсендіруге арналған қоспаны алу тәсілі [2] ауыр қалдық фракцияларды 15-60 °C температурада озон бар газбен өңдеуді қамтиды. Қоспалармен алынған битум иілгіштік пен аязға төзімділіктің жоғары мәндерін көрсетті.

**Ответственный автор*

E-mail: Erdos.Ongarbaev@kaznu.edu.kz

Дата поступления: 27 февраля 2025 г.

© 2025 Институт проблем горения

Мұнай қалдықтарының құрамындағы парафиннің мөлшерін азайту үшін оларды деструкциялау, ішінара изомерлеу және реакцияға түсуге қабілетті қосылыстарға түрлендіру тәсілі ұсынылған [3]. Түрлендіргіш ретінде озонмен қатар калий персульфаты мен марганец ацетаты қолданылған [4]. Түрлендіру кезінде шайырлар мен асфальтендердің мөлшері артып, парафиндердің мөлшері азайды.

Гудронды 220-260 °C температурада 4 сағат ішінде меншікті шығыны 7 дм³/мин·кг озон-ауа қоспасымен тотықтыру арқылы процесті жеделдету мүмкіндігі зерттелді [5]. Тотықтырғыш ретінде озон-ауа қоспасын пайдалану алынған өнімге 25 °C-тағы иненің ену тереңдігін 50%-ға, 0 °C-тағы осы көрсеткішті 27%-ға төмендетуге және жұмсару температурасын 25%-ға жоғарылатуға алып келді, бұл процестің қарқындалуын растайды. Процесс температурасы 220-дан 240 °C-қа дейін жоғарылағанда алкан және полициклді ароматты көмірсутектердің мөлшері азайған. Ароматты көмірсутектердің максималды конверсиясы 260 °C температурада байқалды. Процестің қарқындауы 90 °C-тан жоғары температурада озонның термиялық ыдырауы кезінде түзілетін атомдық оттегінің түзілуімен түсіндіріледі.

Ауыр көмірсутектерді өңдеу тәсілі [6, 7] оларды еріткіштер жүйесіне реакциялық ортаны қалыптастыру үшін қосу және озондау өнімдерін алу үшін құрамында озоны бар газбен реакциялық ортаны озондау кезеңінен тұрады. Атабаска битумының асфальтендерін озондау молекулалық массаның 50%-ға азаюына әкелді.

Гудронды 100-150 °C температурада тотықтыру [8] оттекті қосылыстардың мөлшерін көбейтіп, кокс түзетін арендер мен олефиндердің мөлшерін азайтты.

Озонмен алдын-ала өңделген битумға термиялық крекинг жүргізілді. Озонның оңтайлы мөлшері 6 г/кг битум болды [9].

Озонмен өңделген битумның крекингі кезінде шайырлар деструкцияланып, көміртек атомдары мен қаныққан циклдар саны азаяды [10]. Асфальтендер құрылымында көміртек атомдары мен нафтендік циклдар саны азайды.

Атабаска битумының 140-160 °C температурада озондалған ауамен әрекеттесуі битум тұтқырлығының жоғарылауына, C=C байланысының үзілуіне және ароматты қосылыстардың сақинасының ашылуына әкелді [11]. Тұтқырлықтың жоғарылауы гетероциклді қосылыстардың бос радикалдар қосылуының талғамдылығының

жоғарылауымен байланысты. Кристи механизмі негізінде қосылу өнімдерінің түзілу реакциясының сызбанұсқасы ұсынылған.

Мұнайла Мола кен орнының битумын озон-оттегі қоспасымен (шығыны 11 г озон/кг битум) алдын-ала өңдеп, сосын 450 °C-та 60 минут термиялық өңдеу дистиллят фракцияларының ең көп мөлшеріне әкелді [12]. Крекинг өнімдерінде озондау тереңдігінің жоғарылауымен майлардың мөлшері шамалы, шайырлардың мөлшері 40%-ға азайды, асфальтендердің мөлшері 6,5 есе көбейді.

Көрсетілген әдебиеттердегі мәліметтерде озон қатысында гудронды тотықтыру арқылы битум алу процесін қарқындату мүмкіндігі зерттелді. Қазақстанда мұндай жұмыстар жүргізілмеген, сондықтан бұл жұмыстың мақсаты Қазақстан мұнайының ауыр қалдығы – гудронды озон-ауа қоспасымен тотықтыру процесін зерттеу болды. Жұмыстың жаңалығы – алғаш рет Қазақстан гудронын озон-ауа қоспасымен тотықтырып, битум алынды.

2. Эксперименттік бөлім

Жұмыста зерттеу нысаны ретінде мұнайдың ауыр қалдығы – «Павлодар мұнай химия зауыты» ЖШС гудроны алынды. Бұл гудронның таңдалып алыну себебі – аталған зауытта битум өндірісі жүзеге асырылады және оны алу үшін гудрон шикізат ретінде қолданылады. Гудрон – тұтқыр, аз қозғалатын сұйықтық, оның физика-химиялық сипаттамалары, элементтік және топтық құрамы 1-кестеде берілген. Гудронның құрамында шайырлар (43,8%) мен асфальтендердің (11,8%) қосынды мөлшері майлардың мөлшеріне (44,4%) қарағанда көп, сондықтан битум алу үшін қолайлы шикізат болып есептеледі. Майлардың құрамында ауыр ароматты майлардың мөлшері (23,4%) көп.

Гудронды тотықтыру процесін жүргізу үшін сызбанұсқасы [13] мақалада берілген зертханалық қондырғы қолданылды. Қондырғы диаметрі 159 мм және сыйымдылығы 5 дм³ периодты жұмыс жасайтын реактордан тұрады. Реактор тігінен орналасқан цилиндр пешпен қыздырылады. Реактордың ішінде ауа немесе озон-ауа қоспасын жіберуге арналған патрубок бар, ол реактордың қабырғасына спираль түрінде бекітілген, сондықтан тотықтырғыш қыздырылған күйде келіп түседі. Тотықтырғыш шығыны алдын-ала градуирленген шығын өлшегішпен бақыланады. Процесс температурасы реакторда және пеште орналасқан термोजұптармен өлшенеді.

1-кесте. Гудронның физика-химиялық сипаттамалары және элементтік құрамы

Көрсеткіш	Гудрон
20 °C-тағы тығыздығы, кг/м ³	981,0
Күлділігі, мас. %	0,02
Кокстелуі, мас. %	14,0
Судың мөлшері, мас. %	0,1
Күкірт мөлшері, мас. %	1,97
Ванадий мөлшері, мг/кг	200,1
Никель мөлшері, мг/кг	64,0
Темір мөлшері, мг/кг	54,0
Қайнаудың басталу температурасы, °C	380,0
25 °C-тағы иненің ену тереңдігі, 0,1 мм	189,0
Жұмсару температурасы, °C	39,6
Майлардың мөлшері, мас. %:	44,4
парафин-нафтенді майлар	14,4
жеңіл ароматты майлар	3,8
орташа ароматты майлар	2,8
ауыр ароматты майлар	23,4
Шайырлардың мөлшері, мас. %:	43,8
бейтарап шайырлар	15,4
қышқыл шайырлар	28,4
Асфальтендердің мөлшері, мас. %	11,8

Реакторға гудрон салынып, қақпағы жабылады. Термоконтроллер көмегімен процестің температурасы орнатылады, температура 120 °C-қа жеткенде ауа жіберу үшін компрессор қосылады. Озон-ауа қоспасымен тотықтырғанда озонатордан озон жіберіледі. Тотықтыру температурасының мәніне жеткенде процесс уақыты белгіленеді. Белгілі бір уақыт (2, 3, 4 сағат) аралығынан соң анализ үшін үлгілер алынады. Тотығу процесі аяқталған соң компрессор мен озонатор өшіріліп, тотығу өнімі құйылып алынады.

Гудронды тотықтыру атмосфералық қысымда 240-260 °C температурада 2-4 сағат шығыны 5 л/мин озон-ауа қоспасымен жүргізілді, қоспадағы озонның мөлшері 90% болды.

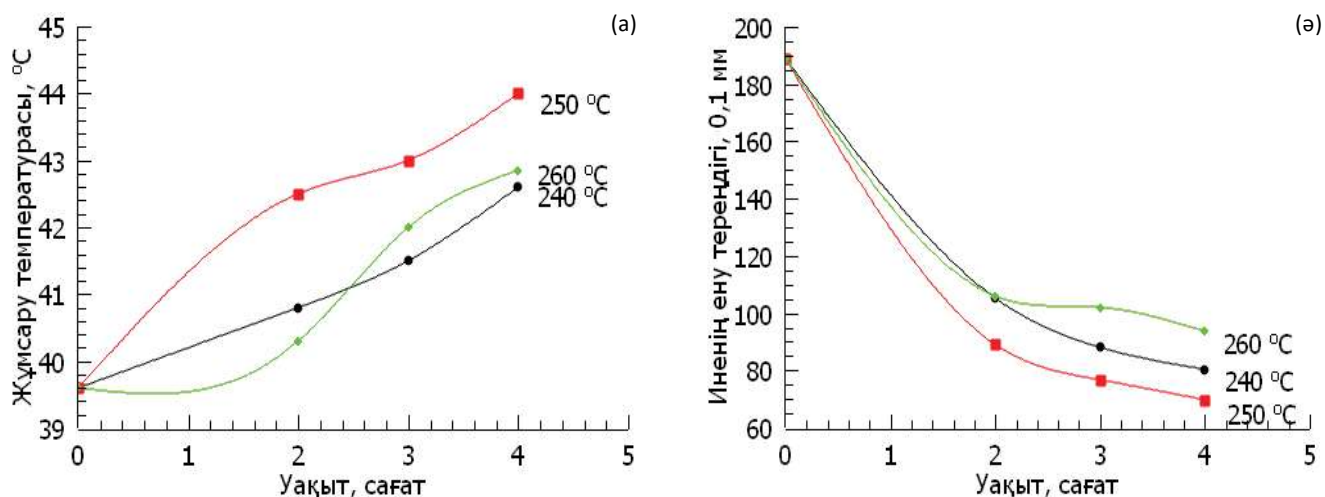
Тотықтыру өнімдерінің физика-механикалық көрсеткіштері стандартты әдістермен анықталды. Өнімге 25 °C-тағы иненің ену тереңдігі (пенетрация) ҚР СТ 1226-2003 стандартына [14] сәйкес ПН-20 пенетрометрмен анықталды. Өнімдердің жұмсару температурасы «Сақина және шар» әдісімен LHDF-4 аспабымен ҚР СТ 1227-2003 стандартына [15] сәйкес анықталды.

Үлгілерге реологиялық талдау диаметрі 25 мм, саңылауы 2 мм параллель пластинасы бар SR-5000 динамикалық кернеу реометрімен (Rheometric Scientific, Piscataway, NJ, АҚШ) жа-

салды. Сынақ минутына 1 °C қыздыру жылдамдығымен температураны 25-тен 110 °C-қа дейін жоғарылату арқылы жүргізілді. Талдау нәтижесінде қайтымды серпімді энергия өлшемі ретінде серпімділік модулі G' және механикалық энергияның қайтымсыз тұтқыр диссипация өлшемі ретінде жоғалту модулі G'' анықталады. Жоғалту модулінің серпімділік модуліне қатынасы G''/G' жоғалту бұрышының тангенсін $\tan \delta$ береді.

3. Нәтижелер және оларды талқылау

Мұнайдың ауыр қалдығы – «Павлодар мұнай химия зауыты» гудронын озон-ауа қоспасымен процесс температурасын және уақытын өзгерте отырып, тотықтыру жүргізілді және процестің оңтайлы шарттары анықталды. Тотықтырғыш ретінде озон-ауа қоспасы қолданылғандықтан, процесс уақыты 4 сағатқа дейін ғана созылды, өндірісте әдетте процесс 6-12 сағат бойы жүргізіледі. Озон тотықтырғыш ретінде ауаның құрамындағы оттегіне қарағанда белсендірек әрекет етеді [16]. Тотығу процесі кезінде озон молекулалық және атомдық оттегіне ыдырайды. Атомдық оттегі жұптаспаған электронының болуына байланысты гудронның көмірсутектерімен әрекеттескенде белсендірек химиялық реакцияларға түседі. Озон



Сурет 1. Гудронды әртүрлі температурада озон-ауа қоспасымен тотықтыру өнімдерінің жұмсару температурасы (а) мен 25 °C-тағы иненің ену тереңдігінің (ә) процесс уақытына тәуелділіктері.

гудронның ароматты қосылыстарымен белсенді әрекеттеседі, ароматты сақинаны бұзады [16].

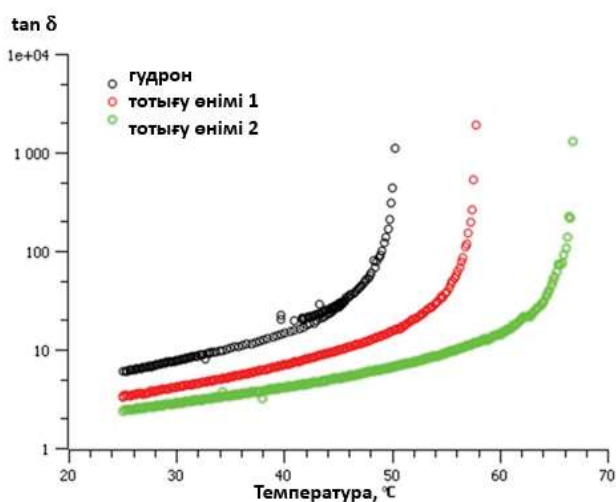
1-суретте гудронды әртүрлі температурада тотықтыру өнімдерінің физика-механикалық сипаттамалары – жұмсару температурасы мен 25 °C-тағы иненің ену тереңдігінің процесс уақытына тәуелділіктері көрсетілген. Үлгілердің жұмсару температурасы процесс уақыты ұзарған сайын жоғарылайды, иненің ену тереңдігі төмендейді. Бұл тотықтыру нәтижесінде гудронның сұйық күйден біртіндеп, битумға тән тұтқыр қатты күйге ауыса бастайтындығын көрсетеді. Стандартқа сәйкес битумның жұмсару температурасы неғұрлым жоғары болса, соғұрлым оның сапасы да жоғарылайды. Иненің ену тереңдігінің мәндері бірден төмендемей, белгілі бір аралықта болу керек, соған сәйкес битумның маркасы анықталады.

1а-суреттен көрініп тұрғандай жұмсару температурасының максималды мәндерін гудронды 250 °C-та тотықтыру өнімі көрсетеді. 1б-суреттегі қисықтарға сәйкес, иненің ену тереңдігінің минималды мәндерін де гудронды 250 °C-та тотықтыру өнімі көрсетті. Осылайша, алынған нәтижелер тотықтыру процесінің оңтайлы температурасы 250 °C болатындығын дәлелдейді.

Битум тұтқыр серпімді заттарға жатады, тұтқыр және серпімді модульдармен сипатталады. Сұйық күйге ауысқанда ол серпімді модульді жоғалтып, бұл кездегі температура жоғалту бұрышының тангенсіне $\tan \delta$ пропорционал болады, ол жоғалту G'' және серпімділік G' модульдарының қатынасын G''/G' береді. Тұтқыр серпімді күйден сұйық күйге ауысу температурасын анықтау үшін минутына 1 °C қыздырудың тұрақты жылдамдығында және 1 Гц жиілікте жоғалту бұрышының

тангенсінің өзгерісі өлшенеді. Температура жоғарылағанда битум иілгіштігін жоғалтып, тұтқыр сұйық күйге айналады.

2-суретте бастапқы гудрон мен оның екі түрлі шарттарда қоспадағы озон мөлшері 90% және шығыны 5 л/мин озон-ауа қоспасымен тотығу өнімдерінің жоғалту бұрышының тангенсінің температураға тәуелділіктері берілген. Суреттен көрініп тұрғандай, бастапқы гудронмен салыстырғанда тотығу өнімдерінің қисықтары температура-ның жоғары мәндеріне қарай айтарлықтай ығысқан. Температура жоғарылаған сайын жоғалту бұрышының тангенсінің мәндері біртіндеп өсіп, сосын күрт жоғарылайды. Бұл үлгінің тұтқыр серпімді күйден сұйық күйге ауысу темпе-



Сурет 2. Гудрон және оны озон-ауа қоспасымен 250 °C-та тотықтыру өнімдерінің жоғалту бұрышының тангенсінің температураға тәуелділігі, тотықтыру уақыты: тотығу өнімі 1 – 3 сағат, тотығу өнімі 2 – 4 сағат.

2-кесте. Гудрон және оның 250 °C-та озон-ауа қоспасымен тотығу өнімдерінің жоғалту бұрышының тангенсінің және тұтқыр серпімді күйден сұйық күйге ауысу температурасының мәндері

Үлгі	Тотықтыру ұзақтығы, сағат	Жоғалту бұрышының тангенсі	Тұтқыр серпімді күйден сұйық күйге ауысу температурасы, °C
Гудрон	-	438,1	50,1
Гудронның тотығу өнімі 1	3	526,9	57,6
Гудронның тотығу өнімі 2	4	220,2	66,5

ратурасының мәнін анықтауға мүмкіндік береді. Зерттелген үлгілер үшін бұл шаманың мәндері 2-кестеде келтірілген.

2-кестедегі мәліметтер бойынша бастапқы гудронмен салыстырғанда оны 250 °C-та 3 сағат тотықтыру тұтқыр серпімді күйден сұйық күйге ауысу температурасының мәні 50,1-ден 57,6 °C-қа, яғни 7,5 °C-қа ығысады. Тотықтыру уақытын 4 сағатқа ұзарту көрсетілген мәннің 66,5 °C-қа дейін ығысу нәтижесін берді, яғни бастапқы гудронмен салыстырғанда бұл көрсеткіштің мәні 16,4 °C-қа жоғарылайды. Бұл нәтижелер тотығу өнімдерінің тұтқыр серпімді қасиеттері бойынша бастапқы гудроннан өзгеше болып, битумның қасиеттеріне өткендігін сипаттайды.

Гудронды 4 сағат тотықтыру өнімінің жоғалту бұрышының мәні бастапқы гудронмен салыстырғанда 438,1-ден 220,2-ге дейін азаяды. Тотықтыру барысында гудронның құрамындағы көмірсутектердің полимерлену және поликонденсация процестерінің нәтижесінде өнімнің молекулалық массасы жоғарылап, ірі молекулалар түзіледі, олардың қозғалғыштығы төмен, сәйкесінше жоғалту бұрышының мәні төмен болады [17]. Сондай-ақ көмірсутектердің тотығуы нәтижесінде карбон қышқылдары, күрделі эфирлер, карбонилді қосылыстар тәрізді оттекті қосылыстар түзіледі, олар да жоғалту бұрышының мәнінің төмендеуіне әкеледі.

3-кестеде гудронды тотықтыру өнімдерінің физика-механикалық көрсеткіштері келтіріліп, мұнай жол битумдарының маркаларына қойыла-

тын талаптарға сәйкестігін анықтау үшін салыстырылды. Маркасы БНД 70/100 жол битумдарына ҚР СТ 1373-2013 стандарты [18] бойынша қойылатын талаптарға сәйкес битумға 25 °C-тағы иненің ену тереңдігі (71-100) · 0,1 мм аралығында, жұмсару температурасы 45 °C-тан төмен болмау керек. Кестедегі мәліметтер бойынша, көрсетілген талаптарды гудронды 250 °C-та 4 сағат тотықтыру өнімі қанағаттандырады. Оған 25 °C-та иненің ену тереңдігі 71,7 · 0,1 мм, жұмсару температурасы 45 °C болды.

Осылайша, гудронды озон-ауа қоспасымен тотықтыру арқылы маркасы БНД 70/100 битум алу процесінің оңтайлы шарттары анықталды: температура 250 °C және уақыт 4 сағат. Тотықтырғыш ретінде ауамен бірге озонды пайдалану тотығу процесінің ұзақтығын қысқартады, бұл кезде гудронның құрамындағы химиялық өзгерістер болашақта талдау әдістерімен анықталады.

4. Қорытынды

Бұл жұмыста «Павлодар мұнай химия зауыты» ЖШС гудронын озон-ауа қоспасымен тотықтыру арқылы битум алу процесі зерттелді. Тотықтырғыш ретінде озон-ауа қоспасын пайдалану процесс уақытын 4 сағатқа дейін қысқартты. Озондаудың тотығу процесіне әсері озон-ауа қоспасындағы оттегінің тотықтырғыш қабілетінің артуымен түсіндіріледі. Гудронды тотықтыру өнімдерінің негізгі физика-механикалық сипаттамалары – 25 °C-тағы иненің ену тереңдігі мен

3-кесте. Гудронды озон-ауа қоспасымен тотықтыру өнімдерінің физика-механикалық көрсеткіштері

Тотықтыру уақыты, сағат	Процесс температурасы, °C					
	240	250	260	240	250	260
	25 °C-тағы иненің ену тереңдігі, 0,1 мм			Жұмсару температурасы, °C		
2	105,3	89,0	106,0	40,8	42,5	40,3
3	88,0	76,7	102,0	41,5	43,0	42,0
4	80,3	71,7	93,7	42,6	45,0	42,8
ҚР СТ 1373-2013 БНД 70/100 талаптары	71-100			45-тен төмен емес		

жұмсару температурасының процесс уақытына тәуелділіктері бойынша процестің оңтайлы шарттары анықталды: температура 250 °C, уақыт 4 сағат. Гудрон және оның тотығу өнімдерінің реологиялық сипаттамасы – жоғалту бұрышының тангенсінің температураға тәуелділігі бойынша тұтқыр серпімді күйден сұйық күйге ауысу температурасы бағаланды. Гудронның тотығуы барысында оттекті үлкен молекулалық қосылыстар түзіліп, шайырлар мен асфальтендердің мөлшері артады, бұл жоғалту бұрышының тангенсінің азаюына және тұтқыр серпімді күйден сұйық күйге ауысу температурасының жоғарылауына алып келеді. Тотығу өнімі негізгі физика-механикалық көрсеткіштері бойынша БНД 70/100 мұнай жол битумының маркасына сай келді.

Алғыс

Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен BR21882255 «Битум өндірісін кеңейту үшін ауыр мұнайлар, мұнайдың ауыр қалдықтары, мұнайбитумды жыныстарды өңдеу, гудронды түрлендіргіштер қосып тотықтырудың жаңа тәсілдерін әзірлеу» бағдарламасы бойынша жүргізілді.

Әдебиеттер тізімі

- [1]. Камьянов В.Ф., Лебедев А.К., Сивирюлов П.П. Озонолиз нефтяного сырья. – Томск: МГП «Раско», 1997. – 256 с.
- [2]. Патент 2117028 РФ. Способ получения добавки для активации вторичных процессов нефтепереработки // Камьянов В.Ф., Сивирюлов П.П., Литвинцев И.Ю. и др. – Оpubл. 10.08.1998.
- [3]. Баясгалан Х., Бембель В.М., Головки А.К., Ширчин Б. Подготовка высококипящих остаточных фракций высокопарафинистых нефтей для производства битума // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2008. – № 7. – С. 17-20.
- [4]. Джумаева О., Солодова Н.Л., Емельянычева Е.А. Компаундирование в технологиях получения битумов // Вестник технологического университета. – 2016. – Т.19, № 5. – С. 43-48.
- [5]. Мурашкина А.В., Мещерякова Е.А., Лихтерова Н.М. Влияние технологических параметров процесса окисления гудронов на показатели качества битумов // Вестник МИТХТ. – 2010. – Т. 5, № 4. – С. 63-69.
- [6]. Патент 2011/137378 A2 WO. Ozonation conversion of heavy hydrocarbons for resource

- recovery // Hong P.K., Cha Z. – Оpubл. 29.04.2011.
- [7]. Patent 9,090,834 B2 US. Ozonation conversion of heavy hydrocarbons for resource recovery Hong P.K., Cha Z. – Оpubл. 30.10.2012.
- [8]. Sahu M.K., Tewari K., Sinha A.S.K. Oxidation of vacuum residue by ozone and nitrous oxide: FTIR analysis // Indian Journal of Chemical Technology. – 2011. – Vol. 18. – P. 91–98.
- [9]. Кривцов Е.Б., Свириденко Н.Н., Головки А.К. Инициированный крекинг природного битума для увеличения выхода дистиллятных фракций // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – № 3. – С. 37-42.
- [10]. Свириденко Н.Н. Закономерности термических превращений компонентов природных битумов. Диссертация на соискание учёной степени кандидата химических наук. Томск, 2016. – 134 с.
- [11]. Hendessi S., de Klerk A. Ozonation of Oilsands Bitumen // Energy Fuels. – 2016. – Vol. 30. – P. 8941-8951.
- [12]. Онгарбаев Е., Иманбаев Е., Тилеуберди Е., Акказин Е., Головки А., Мансуров З. Озонирование природного битума месторождения «Мұнайлы Мола» // Промышленность Казахстана. – 2017. – № 1. – С. 59-63.
- [13]. Zhambolova A., Ongarbayev Y., Tileuberdi Y., Teltayev B. Oxidation of Vacuum Residue with the Addition of Crumb Rubber // Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2022. – Vol. 24. – No. 1. – P. 21-32.
- [14]. ҚР СТ 1226-2003. Битумдар және битум тұтқырғыштар. Иненің өту тереңдігін анықтау әдісі. – Астана, 2003.
- [15]. ҚР СТ РК 1227-2003. Битумдар және битум тұтқырғыштар. Сақина және шар әдісімен жұмсару нүктесін анықтау. – Астана, 2003.
- [16]. Hashami M., Ongarbayev Y., Abdikhan D., Akkazin E., Nessipbayeva N. Ozonation of Bitumen: Characteristics, Characterization, and Applications // Processes. – 2025. – Vol. 13. – P. 708.
- [17]. Zhambolova A., Kenzhegaliev A., Ongarbayev Y. Effect of Nanostructured Shungite on the Rheological Properties of Bitumen // Infrastructures. – 2024. – Vol. 9. – P. 146.
- [18]. ҚР СТ 1373-2013. Битумдар және битумдық тұтқырлар. Жолдық тұтқыр мұнай битумдар. Техникалық шарттар. – Астана, 2013.

References

- [1]. Kamyanov VF, Lebedev AK, Sivirilov PP (1997) Ozonolysis of petroleum raw materials [Ozonoliz neftyanogo syr'ya] MGP "Rasko", Tomsk, 256 p. (In Russian).

- [2]. Kamyaynov VF, Sivirilov PP, Litvintsev IY (2010) Method for obtaining an additive for activating secondary oil refining processes [Sposob polucheniya dobavki dlya aktivatsii vtorichnykh protsessov neftepererabotki]. Patent of Russian Federation No. 2117028. Publ. 10.08.1998.
- [3]. Bayasgalan H, Bembel VM, Golovko AK, Shirchin B (2008) Oil refining and petrochemistry [Neftepererabotka i neftekimiya] 7:17-20. (In Russian).
- [4]. Dzhumaeva O, Solodova NL, Emelyanycheva EA (2016) Bulletin of the Technological University [Vestnik tekhnologicheskogo universiteta] 19: P. 43-48. (In Russian).
- [5]. Murashkina AV, Meshcheryakova EA, Likhterova NM (2010) Bulletin of MITHT [Vestnik MITHT] 5:63-69. (In Russian).
- [6]. Hong PK, Cha Z (2011) Ozonation conversion of heavy hydrocarbons for resource recovery. Patent of WO No. 2011/137378 A2. Publ. 29.04.2011.
- [7]. Hong PK, Cha Z (2012) Ozonation conversion of heavy hydrocarbons for resource recovery. . Patent of US 9,090,834 B2. Publ. 30.10.2012.
- [8]. Sahu MK, Tewari K, Sinha ASK (2011) Indian Journal of Chemical Technology 18: 91–98.
- [9]. Krivtsov EB, Sviridenko NN, Golovko AK (2013) Bulletin of Tomsk Polytechnic University [Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta] 3:37-42. (In Russian).
- [10]. Sviridenko NN (2016) Regularities of thermal transformations of natural bitumen components [Zakonomernosti termicheskikh prevrashcheniy komponentov prirodnnykh bitumov]. Dissertation for the degree of candidate of chemical sciences. Tomsk, 2016. 134 p.
- [11]. Hendessi S, de Klerk A (2016) Energy Fuels 30:8941-8951. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b01344>
- [12]. Ongarbayev Y, Imanbayev Y, Tileuberdi Y, Akkazin Y, Golovko A, Mansurov Z (2017) Industry of Kazakhstan [Promyshlennost' Kazakhstana] 1:59-63. (In Russian).
- [13]. Zhambolova A, Ongarbayev Y, Tileuberdi Y, Teltayev B (2022) Eurasian Chemico-Technological Journal 24:21-32. <https://doi.org/10.18321/ectj1145>
- [14]. ST RK 1226-2003. Bitumens and bitumen binders. Method for determining the depth of penetration of a needle. – Astana, 2003.
- [15]. ST RK 1227-2003. Bitumens and bitumen binders. Determination of softening point by the ring and ball method. – Astana, 2003.
- [16]. Hashami M, Ongarbayev Y, Abdikhan D, Akkazin E, Nessipbayeva N (2025) Processes 13:708. <https://doi.org/10.3390/pr13030708>
- [17]. Zhambolova A, Kenzhegaliyeva A, Ongarbayev Y (2024) Infrastructures 2024: 9, 146. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9090146>
- [18]. ST RK 1373-2013. Bitumens and bituminous binders. Road binder petroleum bitumens. Technical conditions. – Astana, 2013.

Исследование процесса получения битума окислением гудрона озono-воздушной смесью

**Е.К. Онгарбаев^{1,2}, Д.Б. Абдихан^{1,2},
А.Р. Кенжегалиева², А.Б. Жамболова²,
Е.А. Акказин^{2,3}, Н.Н. Несипбаева³**

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. Аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

²Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан

³Казахский национальный педагогический университет им. Абая, пр. Достык, 13, Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Одной из актуальных проблем нефтеперерабатывающей отрасли является повышение интенсивности процесса получения нефтяных битумов. Для этого предложены способы повышения эффективности подачи воздуха, используемого в качестве окислителя, и усовершенствования конструкции установки. В данной работе предложено использовать озono-воздушную смесь в качестве окислителя для получения битума из тяжелых нефтяных остатков – гудрона и изучен процесс получения битума. В качестве сырья для получения битума использовался гудрон ТОО «Павлодарский нефтехимический завод». Процесс окисления гудрона проводился при температуре 240-260 °С в течение 2-4 часов. Содержание озона в озono-воздушной смеси составило 90%, расход смеси – 5 л/мин на 1 кг сырья. Определены глубина проникновения иглы при 25 °С, температура размягчения и тангенс угла потерь гудрона и продуктов его окисления, получены их зависимости от времени и температуры процесса. Максимальные значения температуры размягчения и минимальные значения глубины проникновения иглы продуктов окисления гудрона наблюдаются при 250 °С, что указывает на оптимальную температуру процесса. Температура перехода из вязкоупругого твердого в жидкое состояние продукта окисления гудрона в течение 4 часов увеличилась на 16,4 °С по сравнению с исходным гудроном. Характеристики продуктов окисления сопоставлены с требованиями

ми стандарта РК СТ 1373-2013 и установлено, что они соответствуют марке БНД 70/100. Использование озона совместно с воздухом в качестве окислителя позволило сократить продолжительность процесса окисления до 4 часов.

Ключевые слова: гудрон, битум, озono-воздушная смесь, окисление, тяжелые нефтяные остатки.

Study of the process of ozone-air oxidation of vacuum residue to bitumen

Y.K. Ongarbayev^{1,2}, D.B. Abdykhan^{1,2},
A.R. Kenzhegaliyeva², A.B. Zhambolova²,
E.A. Akkazin^{2,3}, N.N. Nessipbayeva³

¹Al-Farabi Kazakh national university, 71 Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan

²Institute of Combustion Problems, 172 Bogenbai batyr str., Almaty, Kazakhstan

³Abai Kazakh national pedagogical university, 13 Dostyk ave., Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

One of the pressing problems of the oil refining industry is to increase the intensity of the process of obtaining petroleum bitumen. For this purpose, methods are proposed to increase the efficiency of air supply used as an oxidizer and to improve the design of the unit. In this work, an ozone-air mixture was proposed as an oxidizer for the production of bitumen from heavy oil residue – vacuum residue,

and the process of bitumen production was studied. Vacuum residue from Pavlodar Petrochemical Plant LLP was used as a raw material for bitumen production. The vacuum residue oxidation process was carried out at a temperature of 240-260 °C for 2-4 hours. The ozone content in the ozone-air mixture was 90%, the mixture consumption was 5 l/min per 1 kg of raw material. The needle penetration depth at 25 °C, softening point and loss angle tangent of vacuum residue and its oxidation products were determined, and their dependences on process time and temperature were obtained. The maximum values of the softening point and the minimum values of the depth of penetration of the needle of the vacuum residue oxidation products are observed at 250 °C, which indicates the optimum temperature of the process. The temperature of the transition from the viscoelastic solid to the liquid state of the vacuum residue oxidation product within 4 hours increased by 16.4 °C compared to the original vacuum residue. The characteristics of the oxidation products were compared with the requirements of the ST RK 1373-2013 standard and it was found that they correspond to the BND 70/100 grade. The use of ozone together with air as an oxidizer made it possible to reduce the duration of the oxidation process to 4 hours.

Keywords: vacuum residue, bitumen, ozone-air mixture, oxidation, heavy oil residues.