

ХИМИЯ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯ ФАКУЛЬТЕТІ

Физикалық химия, катализ және мұнайхимия кафедрасы

**«МҰНАЙ ДИСТИЛЛЯТТАРЫН АЛЮМОСИЛИКАТТЫ
КАТАЛИЗАТОРЫНДА КАТАЛИТИКАЛЫҚ КРЕКИНГІЛЕУ»**

зертханалық жұмысына әдістемелік нұсқау

Алматы

Теориялық бөлімі. Көмірсутектердің өзгерісі қатты катализаторлар қатысында гетерогенді катализ жағдайында жүреді. Мұнай өңдеуде қолданылатын қатты катализаторлар келесі топқа бөлінеді:

1. Металдық катализаторлар, мысалы: Pt, Pd, Ni;
2. Жартылай өткізгіштер, мысалы: ZnO, Cr₂O₃, WS₂, MoO₂;
3. Изоляторлар, мысалы: алюмосиликатты катализаторлар.

Қатты кеуекті катализаторларда гетерогенді-каталитикалық реакция келесі сатылармен жүреді:

1. катализатор бетіне реагенттердің диффузиясы;
2. активтелген адсорбция;
3. химиялық өзгеріс;
4. реакция өнімдерінің десорбциясы;
5. реакция өнімдерінің көлемге диффузиясы.

Процестің жылдамдығы ең баяу сатымен анықталады. Егерде мұндай саты диффузия болса, онда процесс диффузиялық аймақта жүреді де, оның жылдамдығы температураға аз тәуелді болады және процесс диффузия жылдамдығының теңдеуімен өрнектеледі. Егерде реакция диффузиямен тежелетін болса, онда катализатор бетіне реагенттің келуін қамтамасыз ететін ірі кеуекті, не болмаса өте ұнтақталған катализаторларды қолдану керек.

Егерде ең баяу саты химиялық реакция болса, онда процесс кинетикалық аймақта жүреді. Процестің жылдамдығы температураға тәуелді болады, өйткені температураны әрбір 10⁰С-қа арттырғанда химиялық реакцияның жылдамдығы 2-3 есе артады. Бірақ температураны көтерудің белгілі бір шегі болу керек, өйткені реакция диффузиялық аймаққа ауысуы мүмкін. Катализатор бетінде молекулалардың активтелген адсорбцияның механизмін қарастырайық. Активтелген адсорбция кезінде молекула катализатор бетінде валентті-химиялық күштермен ұсталады. Катализатор бетінде молекуланың болу мерзімі келесі формуламен өрнектеледі:

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{Q}{RT}}$$

Мұндағы: Q- адсорбция жылуы, кДж/моль;

Катализатор бетінде болған кезде молекула бір адсорбциондық орталықтан екінші адсорбциондық орталыққа ауысады. Сондықтан адсорбциондық орталықтағы молекуланың болу уақыты деген басқа түсінік қалыптасады:

$$\tau^1 = \tau_0^1 e^{\frac{Q^1}{RT}}$$

Мұндағы: Q- бір орталықтан басқаға ауысы кезіндегі энергетикалық тосқауыл шамасы.

$\tau_0^1 = \tau_0$ тең деп алып, екеуінің арақатынасын табуға болады:

$$\frac{\tau^1}{\tau} = \frac{Q - Q^1}{RT}$$

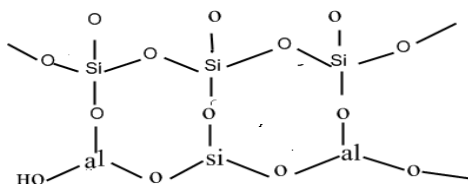
Осыдан молекула катализатор бетінде өте көп мөлшерде секіріс жасайды. Каталитикалық крекинг процесінің мақсаты - температура мен қысымды төмендетіп, бензиннің шығымын және сапасын арттыру. Көмірсутектердің крекингінің активті катализаторы алюминий хлориді болып табылады. Крекингті алғаш рет AlCl₃, AlBr₃ катализаторлары қатысында Ресейде Густавсон жүргізген. AlCl₃ катализаторында

парафиндердің крекингі 100°C-та басталып, 200°C температурада жоғары жылдамдықпен жүреді. Бұл катализатордың кемшілігі алюминий хлоридінің көп мөлшерде жұмсалауы, регенерацияланбайды, ауадағы ылғалдың әсерінен айырылып хлорсутек түзеді, ол өз кезегінде аппаратураны коррозияға ұшыратады.

Қазіргі уақытта катализатор ретінде $AlCl_3$ –тен активтілігі төмендеу, бірақ аталған кемшілікті болдырмайтын алюмосиликатты катализаторлар (аморфты және кристалды) қолданылады. Бұл катализатордың артықшылығы жоғары механикалық мықты, химиялық және термиялық тұрақты, шикізатпен қайтымсыз химиялық әрекеттесуге түспейді, катализатор бетіне қонған коксті өртеу арқылы жеңіл регенерацияланады. Каталитикалық крекинг алюмосиликатты катализатор қатысында бу фазасында 400-500°C-та, атмосфералық қысымда жүреді. Шикізат ретінде қайнау температурасы 500°C-тан жоғары вакуумдық газойль қолданылады.

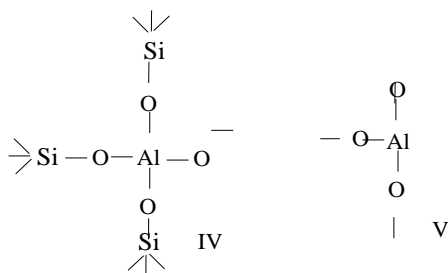
Алюмосиликатты катализатор - меншікті бетінің ауданы 400-1000 м²/г болатын түйіршіктелген зат. Химиялық табиғаты бойынша алюмосиликатты катализаторлар әлсіз қышқылдар болып табылады. Оларды п-диметиламиноазобензол индикаторы қатысында бутиламинмен титрлеуге болады.

Аморфты алюмосиликаттардың кристалдық торын үшөлшемді поликремний қышқылының кристалдық торы ретінде қарастыруға болады, мұнда кремний атомының біраз бөлігі алюминий атомына алмасқан:



Алюмосиликатты катализатордың химиялық құрамын химиялық қосылыста болатын алюминий және кремний оксидтерінің қоспасы ретінде қарастырып, олардың химиялық формуласын $nAl_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot H_2O$ түрінде жазады. Жеке-жеке алып қарағанда алюминий оксиді де, кремний оксиді де және олардың механикалық қоспасы да крекинг катализаторы болып табылмайды. Бірақ кремний қышқылының геліне аздаған мөлшерде алюминий гидроксидінің аздаған гелін қосып, құрғатса активті катализатор алынды. Катализатор активтілігінің химиялық байланысқан алюминий оксидінің мөлшеріне тәуелділігін Г.М.Панченков зерттеген. Катализатор активтілігінің максимумы 30% алюминий оксидінің мөлшеріне сәйкес келеді. Алюмосиликатты катализатордың құрамында химиялық байланысқан және физикалық адсорбцияланған сулар бар. Физикалық адсорбцияланған су катализатордың активтілігін төмендетеді. Сондықтан оны 500-600°C температурада құрғату арқылы ұшырады. Химиялық байланысқан су каталитикалық әсердің механизмінде үлкен роль атқарады, өйткені катализатордан суды толық бөлу (1000°C-та құрғатқанда) оның активтілігін жоғалтады.

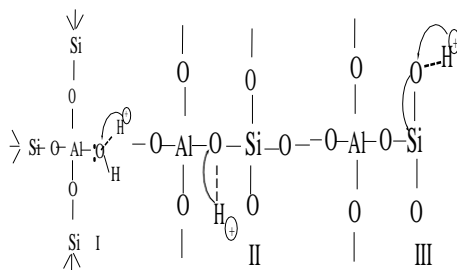
Қазіргі түсінік бойынша алюмосиликатты катализаторда каталитикалық орталықтардың 2 типі бар: протонды және апротонды. Апротондық орталық:



Алюмосиликатты катализатордың протонды орталығының қатысында катализ қозғалмалы протон арқылы жүзеге асырылады. Бұл координациялық қанықпаған алюминий атомына хемосорбцияланған судың протоны (I-құрылым), не болмаса алюминий атомына сорбцияланған гидроксил тобы (II-құрылым), немесе бос протон (III-құрылым). Барлық құрылымда координациялық қанықпаған алюминий атомының электронакцепторлық қасиетінің О-Н байланысты күшті поляризациялауының салдарынан протон қозғаламалы болады.

Апротонды орталықтарда каталитикалық активтіліктің тасымалдаушысы координациялық саны 5,4 немесе 3 болатын координациялық қанықпаған алюминий атомы болып табылады.

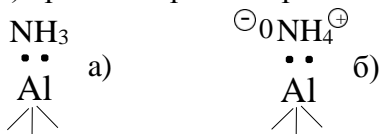
Протонды орталық:



Координациялық саны 3-ке тең алюминий атомының болуы өте сирек кездеседі (V-құрылым), себебі мұндай атомдардың активтілігі өте жоғары. Координациялық саны 4-ке тең алюминий атомы жиі кездеседі де, ол алюмооттекті AlO_4 -тетраэдр түрінде болады (IV-құрылым).

Әрекеттесуші көмірсутектердің молекулаларының катализатордың активті орталықтарымен әрекеттесу механизмі: активті орталықтың құрамына кіретін протондар көмірсутек молекулаларымен әрекеттесіп, оларды карбокатиондарға айналдырып, одан әрі өзгеріске ұшырайды. И.М.Колесников және Г.М.Панченков ұсынған полиэдрлер катализ теориясына сәйкес апротондағы орталықтағы координациялық қанықпаған алюминий атомы электрон акцепторы болып табылады. Хемосорбция процесінде көмірсутек молекуласындағы реакциялық қабілетті электрондар координациялық қанықпаған алюминий атомының вакантты орбитальдарына өтеді. Бұл кезде түзілген көмірсутектердің катион-радикалдары одан әрі өзгеріске ұшырайды.

Алюмосиликатты катализаторлардағы протонды және апротонды орталықтардың болуы ИҚ-спектроскопия көмегімен дәлелденген. Ол аммиактың немесе органикалық негіздердің алюмосиликаттың катализаторының бетіне адсорбциясын, негіздің апротонды (а) және протонды (б) орталықтарымен әрекеттесу өнімі ретінде қарастырады:

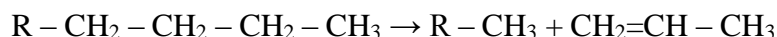


а) апротонды

б) протонды

Көмірсутектердің каталитикалық крекингінің химизмі және механизмі.

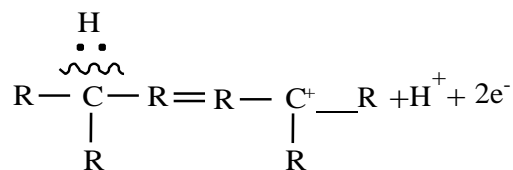
1. Алкандардың өзгерісі. Каталитикалық крекинг кезінде алкан молекуласының айырылуы жүріп қарапайым алкан және молекулалық массасы төмен алкен түзіледі:



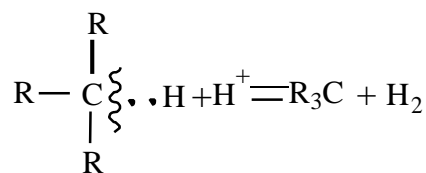
Сондай-ақ дегидрлену реакциясы жүріп олефиндер түзіледі. Термиялық крекингпен салыстырғанда каталитикалық крекингтің артықшылықтары бар:

1. Бір температурада (500°C) алкандардың каталитикалық крекингінің жылдамдығы термиялық крекинг жылдамдығымен салыстырғанда 40-60 есе жоғары.
2. Алкандардың каталитикалық крекингінің сұйық өнімдері негізінен изоқұрылысты. Яғни каталитикалық крекингте интенсивті түрде изомеризация жүреді.
3. Каталитикалық крекингтің газтәрізді өнімдері негізінен (C₃, C₄) құрамды көмірсутектерден (пропилен, пропан, изобутилен, изобутан, бутеннен) тұрады, Ал термиялық крекингте C₁, C₂ құрамды көмірсутектер (метан, этан, этилен) болады.
4. Таза алкандардың каталитикалық крекинг жылдамдығы олефиндердің іздерінің қатысында шұғыл артады.
5. Түзу тізбекті алкандарға қарағанда, изоалкандар жоғары жылдамдықпен крекингленеді.

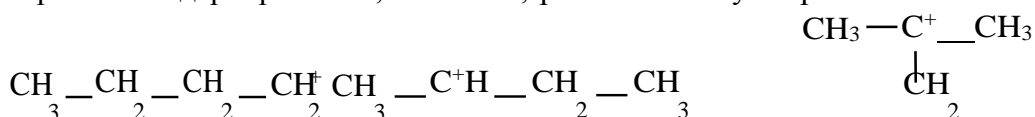
Каталитикалық крекингтің химизмінің осы барлық ерекшеліктері және катализатордың қышқылдық сипаты көмірсутектердің каталитикалық крекингінің карбокатиондардың түзілуі арқылы жүретіндіктен иондық механизммен жүретіндігі туралы жорамалға әкеледі. Бұл жорамалды американдық ғалымдар Хансфэрд, Гринсфельдер, Томас ұсынған. Карбокатион - оң зарядталған көмірсутекті ион, яғни алкан молекуласынан протонды және электрон жұбын үзіп алғанда пайда болады:



Сызба-нұсқадан көрінгендей, карбокатион түзілуі үшін апротонды және протонды қышқылдық орталықтардың әсерінен алкан молекуласының C-H байланысының гетеролитикалық үзілуі жүреді:

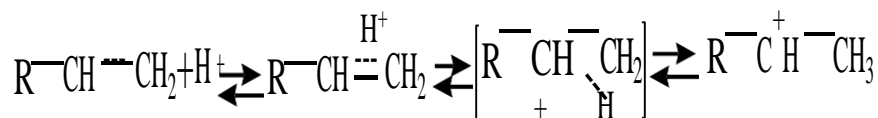


Карбокатиондар біріншілік, екіншілік, үшіншілік болуы мүмкін:



Үшіншілік карбокатион екіншілік, біріншілікке қарағанда тұрақты, өйткені үшіншілік көміртек атомдағы оң заряд үш алкилді топтың электрондарының ығысумен аздап компенсацияланады.

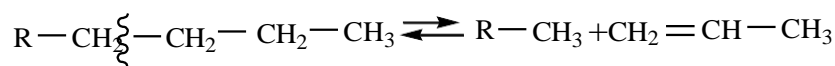
Каталитикалық орталықтардың протоны қос байланыстың π-электрондарымен әрекеттескенде алюмосиликатты катализатордың бетінде олефиндер түзіледі:



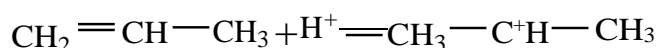
Түзілген карбокатион басқа көмірсутек молекулаларымен әрекеттеседі, не болмаса одан әрі ыдырайды. Бұл реакциялық тізбектің жалғасуына әкеледі.

Көмірсутектердің каталитикалық крекингінің тізбекті механизмін қарастырайық.

А. Тізбектің пайда болуы (карбокатиондардың түзілуі). Таза алкандардың каталитикалық крекингінде қажетті карбокатиондар түзілуі үшін алкандардың таза термиялық крекингінің нәтижесінде алкендердің іздері пайда болады:



Бұдан әрі алкен қышқылдық протонды орталықта адсорбцияланып карбокатионға айналады:

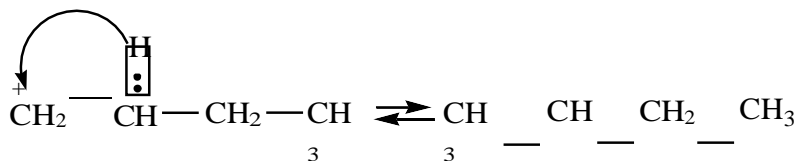


Сондай-ақ карбокатион алкан молекуласынан гидрид-ионды протонды орталықтың әсерінен үзу арқылы түзілуі мүмкін:

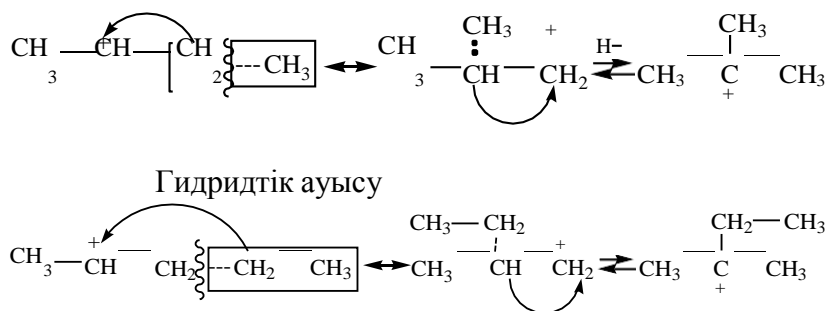


Б. Тізбектің дамуы. Барлық карбокатиондар әртүрлі өзгерістерге ұшырайды да, каталитикалық крекингінің тізбекті процесі дамиды. Карбокатионның барлық өзгерістері олардың тұрақсыздығымен байланысты, сондықтан тұрақтануға ұмытылады.

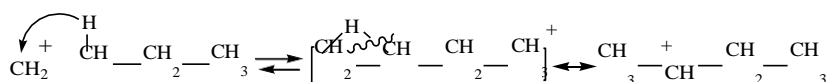
Изомеризация. Біріншілік карбокатиондар гидридтік ауысу есебінен (гидрид ионының 2,1-ығысуы) екіншілікке айналады:



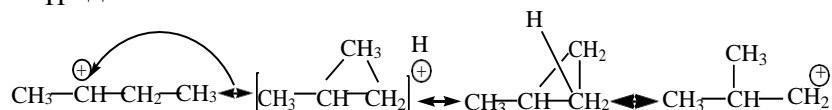
Ал екіншілік карбокатиондар – алкильды ауысуы есебінен үшіншілікке айналады. Алкильды ауысу кезінде алкиланионның (метил, этил) алмасуы жүреді де, оң зарядты көміртек атомына қатысты β-орындағы байланыс үзіледі:



Басқа алкильді топтар (пропил, бутил және т.б.) каталитикалық крекинг жағдайында алкильді ауысуға қарағанда, карбокатиондар түрінде жеңіл үзіледі. Гидридті 1,2-ығысу келесі сызба-нұсқа бойынша жүреді:



Ал алкильді ауысу классикалық емес үш центр карбокатионның (π комплекс) түзілуі сатысы арқылы жүреді.

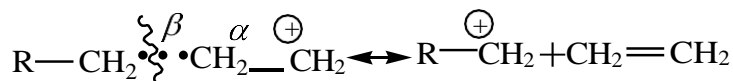


2. Тізбектің дамуы

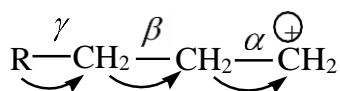
а) карбокатиондар

б) изомеризация

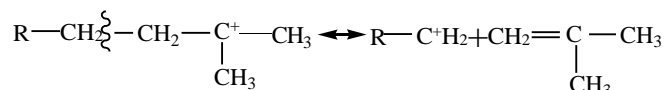
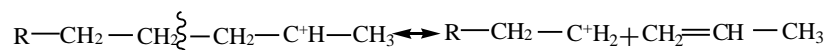
Карбокатиондар β -C-C байланысының айырылысу жолымен тұрақтануға ұмытылып алкен жаңа карбокатион түзіледі.



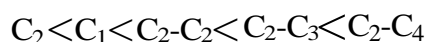
β C-C байланысының үзілуі келесі жолдармен жүреді. Оң зарядталған көміртек атомының әсерінен α - және β -C-C байланыстарда күшті электрондардың ығысуы поляризациясы жүреді. C-C γ -байланыс әлсіз полярлы, себебі ол оң зарядталған көміртек атомынан қашық орналасқан.



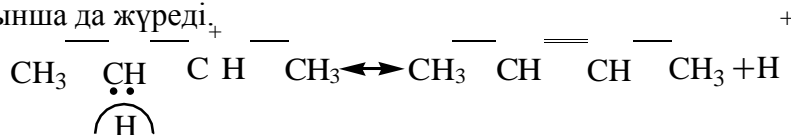
Бұл β -байланысының гетеролитикалық үзілуін жеңілдетеді. Ал α -, γ -үзілістері энергетикалық тиімді емес, өйткені олар екі тұрақсыз бөлшектің үзілуіне алып келеді. Каталитикалық крекинг изомеризация 2,3 карбокатиондар көп түзіледі. Яғни олардың айырылу кезінде C₃-C₄ көмірсутектер түзіледі. Олар каталитикалық крекинг газдарын құрайды.



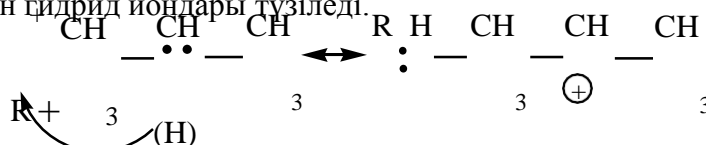
β -байланысының жеңіл үзілуі келесі қатардан алынады.



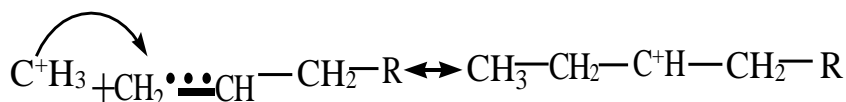
Мұндағы, C₁-C₂, C₃-C₄ екіншілік көмірсутек айырылу кезінде түзілген жаңа иондардың молекулалық массасы неғұрлым үлкен болса соғұрлым карбокатионның көміртек байланысы бойынша да жүреді.



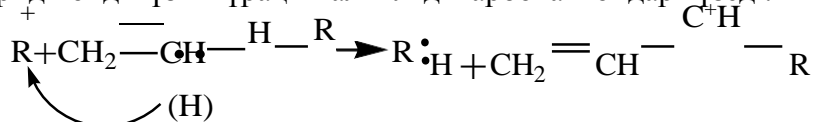
б) карбокатиондардың көмірсутектермен әрекеттесуі. Карбокатион алкан молекуласымен соқтығысқанда одан гидрид иондары түзіледі.



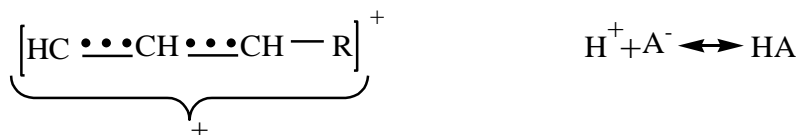
Бұл реакцияға негізінен төменгі карбокатиондар түседі. Ал молекулалық массасы үлкен карбокатиондар көміртек атомында гидрид ионын түзе алады. Бірақ реакцияға қарағанда жеңіл айырылады. Төменгі карбокатион олефин соқтығысқанда қос байланыс қосылады.



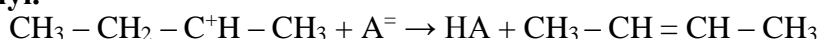
Не болмаса гидрид ионды үзіп тұрақты алкильді карбокатиондар түзеді.



Алкил реакциялық қабілеті төмен, себебі оң заряд үш көміртек атомдар арасында сөндірілген.



3. Тібектің үзілуі.

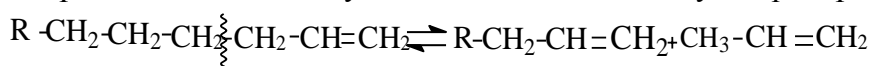


Алкендердің өзгерісі. Алкандарға карағанда алкендер едәуір жеңіл крекингіленеді. Мұның себебі катализатордың активті орталықтарында алкендердің хемосорбциялану қабілеті жоғары (лабильды π-электрондардың есебінен) болуымен түсіндіріледі.

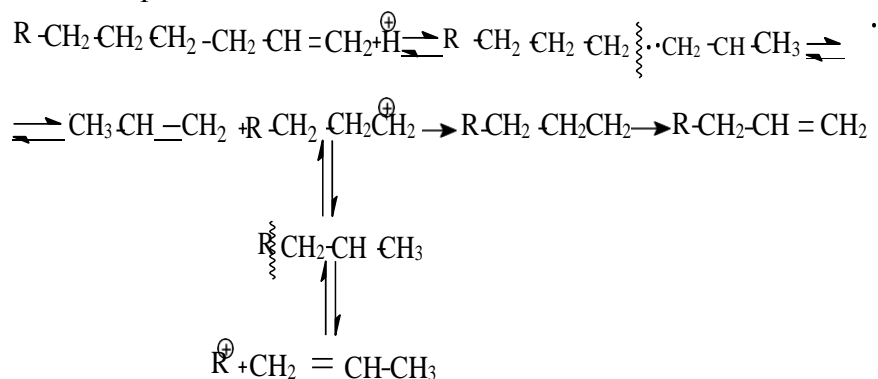
Термиялық крекингпен салыстырғанда алкендердің каталитикалық крекингінің жылдамдығы 2-3 есе жоғары болады.

Каталитикалық крекинг кезінде алкендер келесі өзгерістерге ұшырайды: крекинг, изомеризация, сутектің қайта таралуы, циклизация.

Крекинг кезінде қос байланысқа қатысты β-жағдайдағы C-C байланысының айырылуы арқылы жүреді. Бұл кезде алкен молекуласынан екі алкен молекулалары түзіледі:



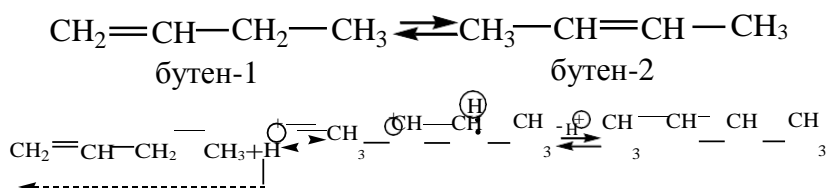
Реакцияның механизмі: алкен молекуласы катализатордың активті орталығына адсорбцияланып, протонды қосып алып, карбокатионға айналады да, содан кейін β-байланыс бойынша айырылады:



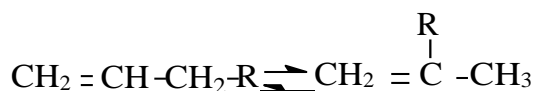
Осылай біріншілік карбокатиондар екіншілікке изомеризацияланады, содан кейін олардың ыдырауы жүреді, каталитикалық крекингтің газтәрізді өнімдерінде едәуір мөлшерде пропилен болады.

Алкендердің изомеризациясы. Каталитикалық крекинг жағдайында алкендер қос байланыстың ауысуымен изомеризацияға және қаңқалы изомеризацияға түседі:

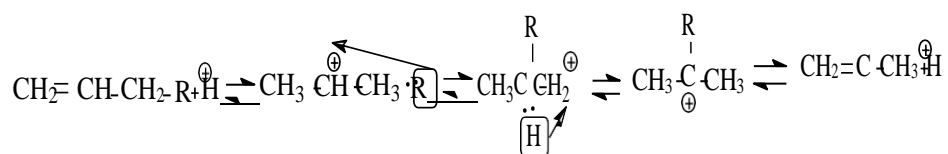
А) қос байланыстың ауысуы:



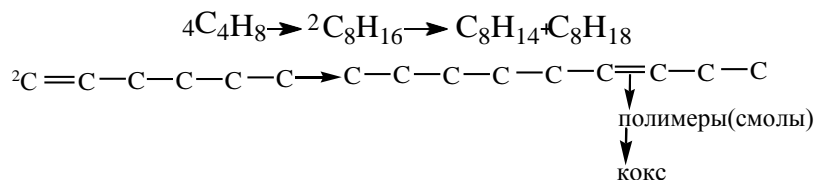
В) қаңқалы изомеризация:



Механизмі:



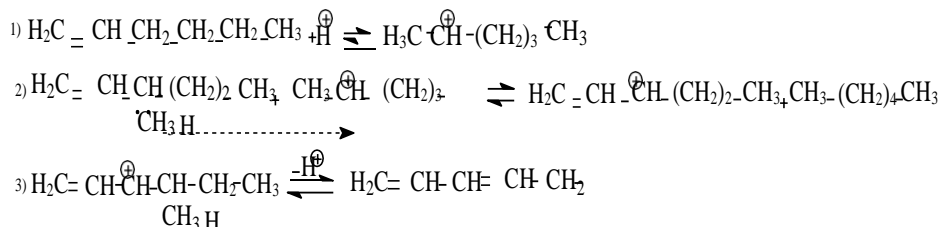
Сутектің қайта таралуы. Каталитикалық крекинг жағдайында (жоғары температура, алюмосиликатты катализатор) бұл процесс терең жүреді. Катализатор бетіне адсорбцияланған олефин бірітіндеп сутекті жоғалтып, нәтижесінде түзілген қанықпаған көмірсутектер полимеризацияланады; полимерлер сутектен айырылып кокске айналады, ал сутек басқа олефиндерді қанықтырып, оларды алкандарға айналдырады. Сондықтан олефинмен алюмосиликатты катализатордың ұзақ жанасуы алканмен кокстің түзілуіне әкеледі:



Бұл процессте

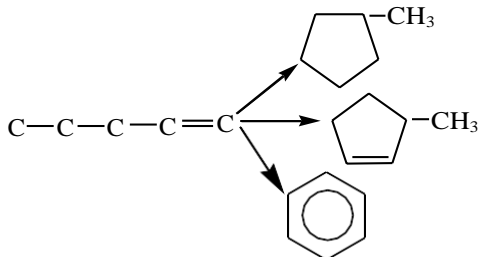
олефиннің

өзгеру механизмі келесі сызба-нұсқамен көрсетіледі:



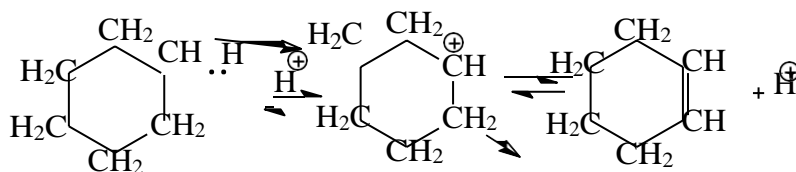
Одан әрі гексадиен гексатриенге және одан әрі тығыздалу өніміне айналуы мүмкін.

Циклизация. Алкендер каталитикалық крекингте циклоалкандар, циклоалкендер және ароматты көмірсутектерге айналады:

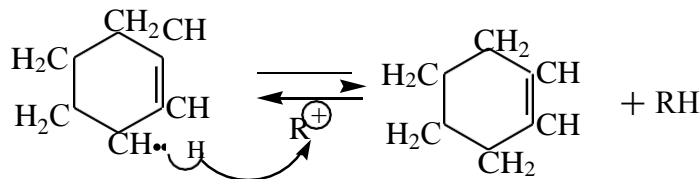


Олефиндердің циклизациясы диен және триен түзілу сатысы арқылы иондық дегидрленумен жүреді:

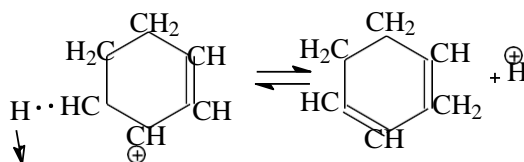
Механизмі: катализатордың протонды қышқылдық орталығының әсерінен карбокатион түзіледі де, ол содан кейін C-H-тің β-байланысы бойынша айырылады:



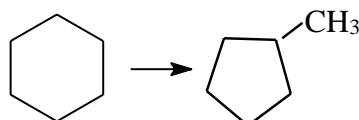
Циклогексан молекуласының аллильді көміртек атомынан гидрид-ион үзіледі:



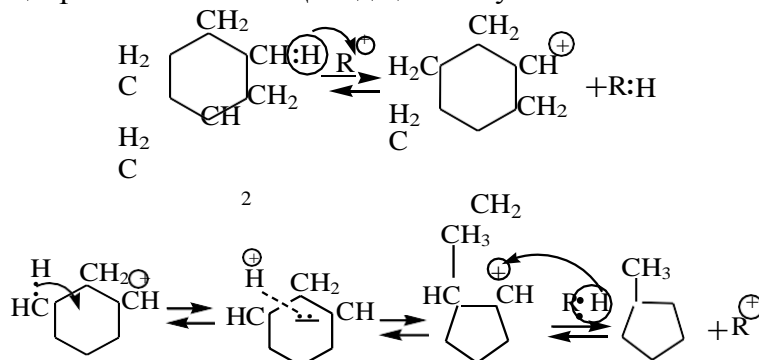
Содан кейін протон үзіледі:



Изомеризация. Каталитикалық крекинг жағдайында циклогександы көмірсутектердің циклопентанды көмірсутектерге изомеризация термодинамикалық мүмкін (сақинаның сығылуы). Мысалы:



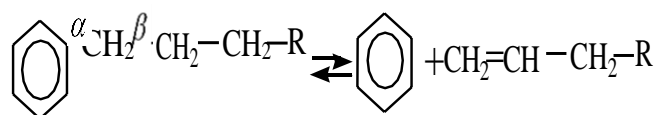
Кері реакция (сақинаның ұлғаюы) каталитикалық крекингтің температурасында термодинамикалық мүмкін емес. Циклдің сығылу механизмі



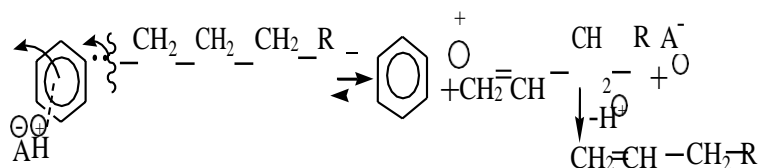
Алдымен қандай да бір карбокатионның немесе катализатор протонының әсерінен циклогексан молекуласынан гидрид-ионның үзілуі жүреді. Содан кейін циклогексильді карбокатионда протонирленген циклопропанды сақина (π-комплекс) түзіледі де, CH₂-CH байланыс бойынша үзіледі.

Ароматты көмірсутектердің өзгерісі. Голоядролы ароматты көмірсутектер (бензол, нафталин) каталитикалық крекингте ешқандай өзгеріске ұшырамайды. Толуолдың крекингі төмен жүреді. Жоғары алкилбензолдар жеңіл крекингленеді. Термиялық крекингтен

ерекшелігі олар β -байланыспен емес, бүйір тізбектегі көміртек-көміртек α -байланысы бойынша айырылады:

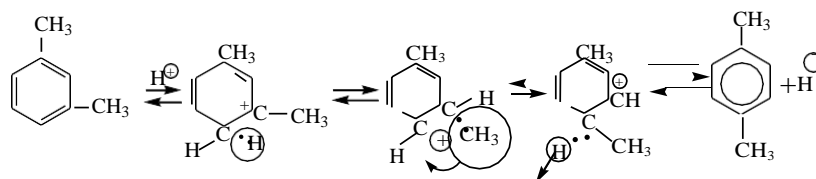


Бұл катализатордың активті орталығымен бензол ядросының π -комплекс түзілуі туралы жорамал тұрғысынан түсіндіреді. Жорамалға сәйкес крекинг процесінде π -комплекс катализатордың активті орталығымен бензол ядросының π -электрондары арасында түзіледі де, C-C - α -байланыстың поляризациясына әкеледі және оның гетеролитикалық үзілуін жеңілдетеді:

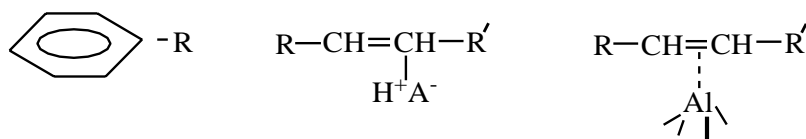


Сондай-ақ бүйір тізбек үзіледі де, оның сақина бойынша ауысуы жүріп (изомеризация), ол карбений-иондық теория тұрғысынан түсіндіріледі.

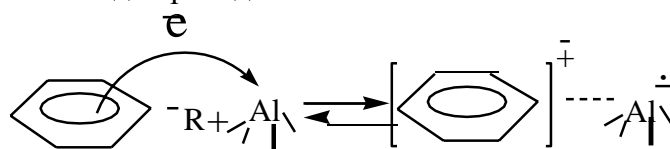
Мысалы, м-ксилолдың п-ксилолға изомеризациясы:



Көмірсутектердің каталитикалық крекингінде аралық бөлшектер - түзілуіне байланыстың толық гетеролитикалық үзілуді қажет ететін карбокатиондар (σ -комплекс) емес, көмірсутектердің катализатордың активті орталығымен түзетін беттік комплексті қосылыстар болып табылады. Мұндай қосылыстарға түзілуіне σ -комплекске қарағанда аз энергия қажет ететін π -комплекс не болмаса катион-радикалдар жатады:



Катион-радикалдар көмірсутек молекуласынан катализатордың активті орталығына бір электронды ауысу нәтижесінде түзіледі:



Көміртек атомынан екі электронды үзіп алғаннан бір электронды үзіп алған энергетикалық тиімді.

Г.М.Панченков және И.М.Колесников жұмыстарында көрсетілгендей, карбений-ионды механизмде алюмосиликатты катализаторда каталитикалық активтіліктің тасымалдаушысы протондар емес, алюмооттекті тетраэдрағы координациялық қанықпаған алюминий атомы деп есептейді. Сондықтан алкилбензолдардың крекингі π -

электронның алюминий атомының вакантты 3d-орбитальдарына ауысу есебінен түзілетін катион-радикалдардың түзілу сатысы арқылы жүреді. Катализатордың апротонды орталығының қатысында өтетін алкилбензолдың каталитикалық крекингінің механизмі:

Термиялық және каталитикалық крекинг кезінде көмірсутектердің химиялық өзгеріске тұрақтылығы келесі қатарда болады:

Термиялық крекинг: парафиндер < олефиндер < нафтендер < алкиларендер < голядролы ароматты көмірсутектер.

Каталитикалық крекинг: олефиндер < алкиларендер < нафтендер < парафиндер < голядролы ароматты көмірсутектер.

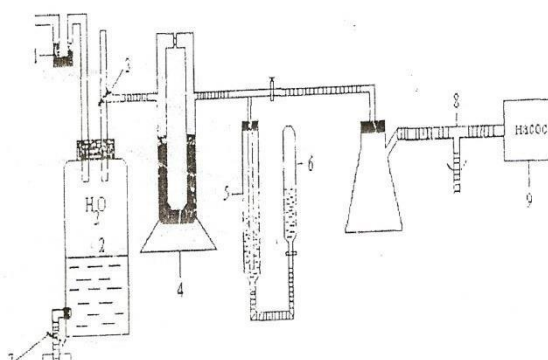
Жұмыстың мақсаты: Мұнай өнімдерінің каталитикалық крекинг процесін моделдеу және бастапқы шикізатпен крекинг өнімдерінің физикалық-химиялық сипаттамаларын анықтау.

Жұмысты орындау әдістемесі: жұмыспен танысу; қондырғыны жинау және саңылаусыздығын тексеру; газометрді градуирлеу; реометрді градуирлеу; катализатор дайындау және актиутеу; крекинг әдісін жүргізу; бастапқы және крекинг өнімдерін анализдеу; жұмысты әрлеу, материалдық баланс құру.

Реометрді градуирлеу

Тәжірибе алдында реометрді тазалап жуып, ағаштан жасалған материалға дұрыс орналастыру керек. Содан кейін реометрдің ортасы сызғыш көмегімен анықталып, одан бір сантиметр төмен алынған жері нольдік болып белгіленеді де, оның ішіне калий дихроматының ерітіндісімен боялған дистилденген су құяды. Тәжірибеге дайындалған реометрді арнаулы қондырғыда әрбір жүргізілетін эксперименттік тәжірибелерге сәйкес келетін диаметрлері әртүрлі капиллярлар қатысында градуирлейді.

Реометр – лабораториялық қондырғыда газ ағысының жылдамдығын өлшеуге арналған. Ол үшін газды капиллярлы түтікше арқылы өткізгенде, капиллярдың жоғары кедергісі салдарынан газ қысымының төмендеуі жүреді. Капиллярлы түтікшеге дейінгі және одан кейінгі газ қысымының айырымы боялған сумен толтырылған екі аяқшаның деңгейінің айырымы (h) бойынша U – тәрізді түтікше (4) манометрмен өлшенеді. Деңгейдің айырымы неғұрлым үлкен болса, газдың жылдамдығыда жоғары болады.



- | | |
|---------------------|-------------------------------|
| 1 – манометр | 6 – теңестіргіш груша |
| 2 - аспиратор | 7 – аспиратордың төменгі кран |
| 3 – үш өлшемді кран | 8 - үш өлшемді түтікше |
| 4 – реометр | 10 – өлшегіш цилиндр |
| 5 – қысым реттегіш | |
| 9- насос | |

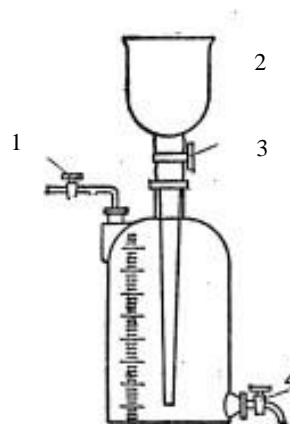
Диаметрі әртүрлі капиллярмен резина түтікше арқылы жалғанған манометр (4) газ ағысының 0,1-ден 250 см³/мин жылдамдығын өлшейді.

Қондырғының толық саңылаусыздығына жетіскеннен кейін, градуирлеу үш өлшемді кран (3) арқылы жүргізіледі. Ол үшін аспираторды () төменгі краны арқылы сумен үш өлшемді кранды атмосферамен жалғаумен толтырады. Аспиратор дайын болған соң

реометрді қондырғыға жалғайды. Қысым реттегіште () белгіленген нүктелерді реометрге ауыстыру үшін насоспен () ауа үрлейді. Ауа көпіршіктері бірқалыпты жылдамдықта жіберілуі үш өлшемді түтікшедегі () қысқышпен реттеледі. Үрленген ауа ағысында қысым пайда болуына байланысты реометрдің манометрлік аяқшасында сұйықтың деңгейінің айырымы анықталып орнықтырылады. Бұл операцияларды жүргізгенде аспиратордағы үш өлшемді кран атмосферамен байланыста болады. Градуирлеуді бастағанда аспиратордағы үш өлшемді кранды 180°C –қа айналдырып аспиратормен жүйені байланыстырады. Сол кезде реометрдегі деңгейлер айырымы өздігінен нольдік деңгейге келгенше тосады. Содан кейін қайтадан аспиратордың төменгі кранынан суды ағызу арқылы берілген нүктеге реометрдің деңгейін келтіріп, тұрақтандырғаннан кейін өлшегіш цилиндрге бір минутта суды жинайды. Жылдамдықты үш рет өлшейді де, орташа шамасын алады. Су жинау барысында аспиратордағы сынап құйылған манометрдегі () көрсеткіш бірқалыпты деңгейде болу керек. Аспиратордан алынған судың көлемі бойынша қондырғы арқылы өткен ауа ағысының жылдамдығын есептейді. Реометрдағы деңгейдің айырымын аспиратор көмегімен өзгертіп, ауа ағысының жылдамдығына сәйкес келетін бірнеше нүктелерді алады. Жылдамдықтың аралық мәндерін анықтау үшін абцисса осіне реометрдің манометрлік түтікшесіндегі деңгейдің айырымының мәнін сызғышпен өлшеп, ал ордината осіне ауаның көлемдік жылдамдығының мәндерінің арасында график салады. График түзу сызықты тәуелділікте болады. Осы график арқылы ауа жылдамдығының барлық аралық мәндерін анықтайды. Графиктен алынған мәндермен реометрдегі сандық шамалар нақтыланады.

Газометрді градуирлеу

Газометр - процесс барысында бөлінген газды жинауға және анализдеуге арналған. Сонымен қатар технологиялық қондырғының саңылаусыздығын (герметикалығын) газометр арқылы тексереді. Оның көлемдік сыйымдылығы әртүрлі болады, берілген лабораториялық жұмыстарда көлемі 5, 10, 20 литрлі газометрлер қолданылады. Газометр (2-сурет) келесі бөліктерден: газ жинайтын негізгі құты (1), құтыға киілген тубустан (2), шөлмектен (3), жоғарғы (4), ортаңғы (5), төменгі (6) крандардан тұрады. Газометрді жұмысқа дайындау алдында барлық бөліктерінің дұрыстығы мұқият тексерілуі керек. Әртүрлі газдармен жұмыс жасағандықтан оның құрамын анықтау жылдам әрі сапалы жүру үшін газ жиналатын газометр өте таза болғаны дұрыс. Сондықтан газометрдің әрбір бөліктерін сақтықпен өте жоғары деңгейде тазалап жуады. Таза жуылған газометр бөліктерін кептіреді. Содан кейін әрбір бөліктерін арнаулы майлағышпен (смазка) майлап жұмысқа

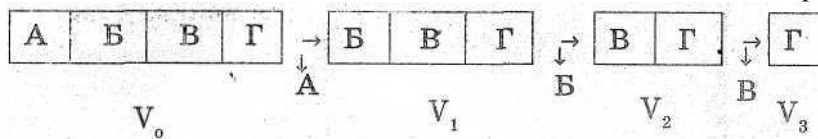


жоғары ұқыптылықпен жинастырады. Газометрдің жұмысы негізгінен аталған крандар арқылы жүзеге асырылады. Төменгі кранды жауып, жоғарғы және ортаңғы крандарды ашып негізгі бөлігін дистилденген немесе крандағы сумен толтырады. Сумен толтыру барысында ауа толығымен ығыстырылып шығарылуы керек. Оны жүзеге асыру үшін ортаңғы кран арқылы тубустағы ауа көпіршіктерін қосымша резина түтікшемен шығарады.

Жоғары кранды жауып, ортаңғы кранды ашып, тубусты негізгі бөліктен баяу көтеру арқылы барлық ауа көпіршіктерін шығаруға болады. Содан кейін барлық кранды жауып, тек ғана төменгі кранды ашу арқылы газометрдің саңылаусыздығын тексереді. Егерде төменгі кранды толық ашқанда негізгі бөліктен су ақпайтын болса, газометр саңылаусыз, жұмысқа дайындауға болады. Ал егерде су ағып тоқтамаса кранды жауып, газометр бөліктерін тағы қайта бір нығыздап бекітіп, саңылаусыздыққа қайта тексеру қажет. Толық тексерілгеннен кейін газометрдің сыртын жақсылап құрғатып, градуирлеу жүргізу үшін миллиметрлік қағазды өлшеп қиып, ұқыптылықпен жапсырады. Содан кейін төменгі кранды ашып, арнаулы қысқыш көмегімен өлшегіш цилиндрге ішіндегі суды 200 мл ағызу арқылы градуирлейді. Градуирлеуді қарындашпен жүргізеді, оқытушы немесе лаборант тексергеннен кейін ғана нақтылап жазу қажет. Жұмысқа градуирленген газометр жиналатын газдардың табиғатына байланысты қаныққан тұз ерітіндісімен немесе дистилденген сумен қайта толтырылып, процеске қосылады.

Газ қоспаларын анализдеу

Әдістің негізі. Газ қоспаларын анализдеу әдісін шартты түрде химиялық және физикалық деп бөледі. Химиялық әдіс – газ қоспасының құрамды компоненттерін бірітіндеп әр түрлі абсорбент ерітінділерімен талғамды сіңіруге (хемосорбцияға) негізделген. Бұл кезде газ қоспасының компоненттерінің абсорбент ерітіндісімен химиялық әрекеттесуімен және реакция өнімдерінің еруімен газ көлемінің азаюы жүреді. Егерде газ қоспасынан бірнеше компоненттер анықталатын болса, онда оларды қоспадан бірітіндеп шығарады да, әрбір анықтаудан кейін көлемді өлшейді. Компоненттің мөлшерін сіңіруге дейінгі және сіңіруден кейінгі газ көлемдерінің айырымы бойынша анықтайды. Газ көлемінің азаюы анализденетін газдың көлемдік мөлшеріне сәйкес келеді:



Егерде А,Б,В,Г – анализденетін газдың компоненттері болса, онда анализдеуге алынған газдың көлемінде (V_0) олардың көлемі мынаған тең:

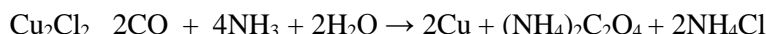
$$V_A = V_0 - V_1, V_B = V_1 - V_2, V_B = V_2 - V_3, V_G = V_3.$$

Газ анализ – жалпы және арнайы болып бөлінеді. Газдың жалпы анализі – құрамына өнеркәсіптік газдар кіретін кең таралған газдар қоспасы. Арнайы газ анализі – жалпы анализге жатпайтын әр түрлі анализ әдістері немесе жекелей газдарды және күрделі көмірсутекті газдардың қоспасы. Жалпы газдар анализінде қышқыл газдардың, қанықпаған, қаныққан көмірсутектердің, сутектің, оттектің, азоттың, көміртек (II) оксидінің суммасын анықтайды.

Анализ кезінде бұл қосылыстарды анықтау келесі химиялық реакцияларға негізделген: Көміртек (IV) оксидін калий гидроксиді ерітіндісімен әрекеттестіру:

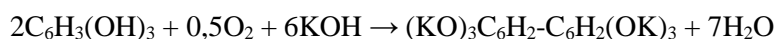


Көміртек (II) оксидін мыс (I) хлоридінің аммиакты ерітіндісімен әрекеттестіргенде комплексті қосылыстың түзілуі:

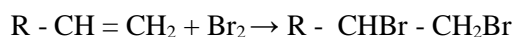


Бұл абсорбент ерітіндісінде газдағы оттегі, көміртек (IV) оксиді және этилен бірге сіңіріледі, сондықтан анализ операцияларын жүргізу тәртібін сақтау керек.

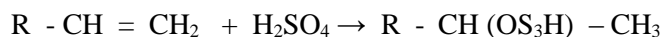
Оттегі пирогаллолдың (1,2,3-триоксibenзол) сілтілік ерітіндісімен әрекеттесіп, калий гексаоксидифенолятының түзілуі:



Қанықпаған көмірсутектер калий бромидінің судағы ерітіндісіндегі броммен әрекеттеседі:



немесе белгілі концентрациялы күкірт қышқылымен



азот, алкандармен сутектің жалпы мөлшерін бастапқы және сіңірілген газдардың көлемдерінің айырымы бойынша анықтайды.

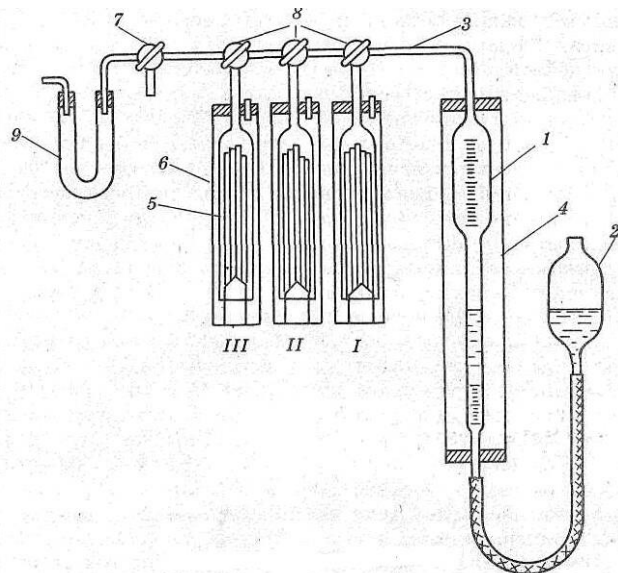
Анализденетін газдың компоненттерін анықтау тәртібі және оны сіңіретін ерітінділермен өңдеу кезегі газдың сапалық құрамына байланысты. Бұл анықтау кезегі - әрбір компонент басқа компоненттің анықталуына кедергі жасамайтындай түрде таңдалады.

Газдарды сақтау. Газ сынамасын алу және оны лаборатория жағдайында сақтау үшін газ пипеткасын немесе газометр қолданылады. Газдардың еруін төмендету үшін толтырылатын сұйықтық ретінде натрий немесе кальций хлоридінің қаныққан ерітінділері, 10 %-тік күкірт қышқылының ерітіндісі, глицерин, 1%-тік тұз қышқылының ерітіндісін қолдануға болады. Газометрді газбен толтырудың алдында оны тазалап жуып, бөліктерімен крандарын арнайы майлағышпен майлайды да, содан кейін саңылаусыздығын тексеріп, градуирлеу керек. Ол үшін газометрдің шөлмегіне дистилденген су құйып, шөлмектегі және бутылдағы жоғары крандарды ашады. Суды газометр ішіндегі ауаны толық ығыстырып шығарғанша құяды. Содан кейін ашық тұрған крандарды жауып, бутылдың төменгі кранын ашқанда су ақпаса, онда газометр саңылаусыз градуирлеуге дайын. Ал егерде су ағып кетсе, онда газометр бөлімдері байланысқан жерлерді және крандарды мықтап бекітіп, қайтадан тексеру керек. Газометрді градуирлеу үшін шөлмектегі кранды жауып, бутылдың төменгі кранын ашып суды берілген жұмыстың табиғатына сәйкес көлемі әртүрлі өлшегіш цилиндрге жинап, сол арқылы градуирлеуді жүргізеді. Градуирленген газометрді толтырғыш сұйықтықпен ауа толық ығыстырылып шыққанға дейін толтырады. Газ жинау үшін газометрдің жоғары краны арқылы оны газ көзіне жалғайды. Жоғары және төменгі крандарды ашу арқылы газды газометрге жинайды.

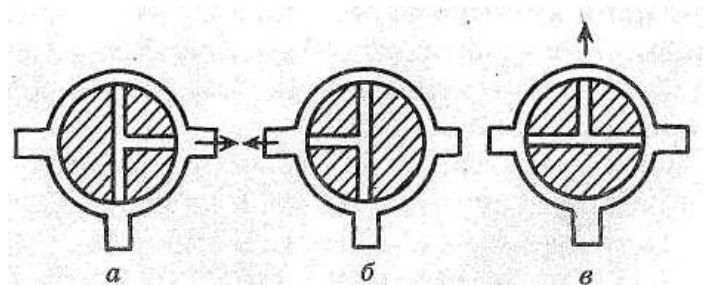
Керекті реактивтер. Күкірт қышқылы (10 %), мыс (I) хлориді, калий гидроксиді (33 %), аммиак (25 %), калий бромиді (20 %), аммоний хлориді (25 %), сұйық бром (1 мл).

Газ қоспасын химиялық газоанализаторда анализдеу. ГХП-3М типті газоанализатор градуирленген бюреткадан (1), теңестіргіш склянкадан (2), капиллярлы гребенкалардан (3) және сіңіргіш ыдыстардан (I), (II), (III) тұрады (сурет 1). Көлемі 100 мл бюретка (1) термоститрлену үшін сыртқы қабатпен қоршалған (4) және резина түтікше арқылы теңестіргіш склянкамен (2) жалғанған. Бюретканың жоғары бөлігінде шкала – 1 мл, ал төменгі бөлігінде – 0,2 мл. Есептеуге қолайлы болу үшін бюреткаға екі шкала көрсетілген: оң жағы - анализденетін газдың көлемін (ол жоғарыдан төмен қарай 0 мл –ден 100 мл-ге дейін градуирленген), сол жағы – сіңірілген газдың көлемін есептеуге (ол жоғарыдан төмен қарай 100 мл-ден 0 мл-ге дейін градуирленген) арналған. Егерде анализденетін газдың көлемі 100 мл тең болса, онда сол жақтағы шкала бойынша сіңірілген компоненттің көлемдік мөлшері есептеледі. Бюретка және теңестіргіш склянка мыс сульфатының ерітіндісімен боялған 10 %-тік күкірт қышқылы ерітіндісімен толтырылған.

Әрбір сіңіргіш ыдыстар (I), (II), (III) бір-біріне кигізілген екі баллоннан (5), (6) тұрады. Баллон (5) сіңіру кезінде газды қабылдауға, ал баллон (6) 5-ші баллонды газбен толтырғанда сіңіргіш ерітіндіні ығыстыруға арналған. Ерітіндімен газдың жанасу бетін арттыру үшін 5-ші баллон шыны түтікшенің сынықшаларымен толтырылған. Сіңіргіш ыдыстар компоненттерді анықтау тәртібіне байланысты абсорбент ерітінділерімен толтырылады. Үш өлшемді кранмен (8) жабдықталған капиллярлы гребенка (3) сіңіргіш ыдыстарға газдың таралуын және оларды бюреткамен (1) жалғайды. Кран (8) арқылы газ әрбір сіңіргіш ыдысқа бағытталады. Гребенка U-тәрізді түтікше (9) кран (7) арқылы газ көзімен, атмосферамен жалғанады немесе қоршаған ортадан мүлдем изоляцияланады.



Сурет 1. Газоанализатор ГХП-3М



Сурет 2. Үш өлшемді краның жағдайы

Анализді жүргізу әдістемесі. Анализді жүргізу келесі сатылардан тұрады: анализденетін газды жинау, газоанализаторды жұмысқа дайындау, анализге сынама алу, анализді жүргізу, нәтижелерді алу және өңдеу.

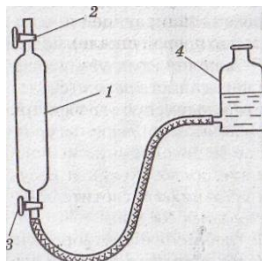
Газоанализаторды жұмысқа дайындау. Анализге анализденетін газ тікелей газометрден жіберіледі. Газоанализатордан қалып қойған газ толығымен шығарылады да, аспап саңылаусыздыққа (герметикалық) тексеріледі. Бұл үшін сіңіргіш ыдыстар кран (8) арқылы жоғарғы көрсетілімге дейін ерітінділермен толтырылады.

Капиллярлы гребенкадағы үш өлшемді кран (7) 2-суреттегі «а» жағдайға қойылғанда бюретканы (1) атмосферамен жалғайды, осы кезде оң қолмен теңестіргіш склянканы (2) баяу көтеріп бюреткадағы сұйықтық деңгейін оң жақтағы шкала бойынша 0 мл деңгейіне келтіреді. Содан кейін сол қолмен кран (7) «б» жағдайға бұрап гребенканы атмосферадан ажыратады да, кран (8) біреуін ашып гребенканы тиісті сіңіргіш ыдыспен қосады. Теңестіргіш склянканы баяу түсіре отырып ыдыстағы сұйықтың деңгейінің көтерілуін бақылау арқылы ол көрсетілімге жеткенде кранды (8) жабады. Тура осындай жолмен басқа сіңіргіш ыдыстарды да ерітіндімен толтырады. Сіңіргіш ыдыстағы сұйықтар гребенкаға өтіп кетуіне ешқашанда жол бермеу керек. Сондықтан сіңіргіш ыдыстарды ерітінділермен өте сақтықпен толтыру қажет. Барлық сіңіргіш ыдыстар ерітінділермен толтырылғаннан кейін газоанализаторды саңылаусыздыққа тексереді. Бұл үшін бюретканы қайтадан сұйықпен толтырады да, кран (7) «б» жағдайға келтіріледі де, склянканы үстелге қояды. Егерде сіңіргіш ыдыстағы ерітінді деңгейі алғашқыда төмендейді де, содан кейін бес минут барысында тұрақты түрде қалса аспап саңылаусыз болып табылады. Ал ауа қатысында болса, онда барлық крандарды, қосылған жерлерді тексеріп операцияны қайталайды.

Анализге сынама алу. Газометрді газоанализаторға U-тәрізді түтікше (9) арқылы жалғайды. Газометрден анализге сынама алмас бұрын гребенкадағы қалған газды толық шығарып, оны анализденетін газбен жуады. Гребенканы газбен жуу үшін кран (7) суреттегі «в» жағдайға қояды, содан кейін газометрді бюреткамен (1) жалғайды. Газометрдің екі кранын да ашып теңестіргіш склянканы (2) баяу төмен түсіріп бюретканы газбен толтырады. Бюретканы газбен оң жақтағы

шкала бойынша 25-30 мл толтырып, кран (7) «а» жағдайға келтіріп газды атмосфераға шығарады. Жуу операциясын екі рет қайталап, кран (7) «в» жағдайға қояды.

Анализденетін газдың нақты көлемін алу үшін теңестіргіш склянканы (2) бюреткаға жақындатып, оны төмен және жоғары көтеру арқылы бюреткадағы сұйықтың деңгейін оң жақтағы шкала бойынша 100 мл жеткізіп, теңестіргіш склянкадағы сұйық деңгейімен бірдей етіп келтіреді. Деңгейлер бір-біріне сәйкес келгенде кран (7) жылдам «б» жағдайға келтіріп, гробенкадан газометрден ажыратады. Газометр крандарын толық жабады.



Сурет 3. Газды бюретка

Анализді жүргізу. Анализдеу үшін газды бюреткадан кезегіне сәйкес абсорбент ерітінділері құйылған сіңіргіш ыдыстарға I, II, III жібереді. Сіңіргіш ыдыстар ерітінділермен келесі кезекте толтырылады: крекинг газдары үшін – I – калий гидроксиді, II – пирогаллол, III – мыс (I) хлоридінің аммиакты ерітіндісі.

Газды сіңіруді бірінші ыдыстан бастайды. Ол үшін осы ыдыстың кранын (8) ашып, теңестіргіш склянканы баяу көтеріп газды сіңіргіш ыдысқа жібереді. Бюреткадағы сұйық оның жоғарғы көрсетіліміне жеткенде, кранды (8) жаппай теңестіргіш склянканы төмен түсіру арқылы газды қайтадан бюреткаға жібереді. Бұл операцияны 5-6 рет қайталайды. Содан кейін сіңіргіш ерітіндінің деңгейін жоғарғы көрсетілімге жеткізіп кранды (8) жабады да, теңестіргіш склянкамен бюреткадағы сұйықтың деңгейін анықтау арқылы өлшенген газдың көлемін өлшейді. Сіңіру операциясын 2-3 рет қайталап, өлшенген газдың көлемін алады. Егерде екі өлшеудің арақашықтығы 0,2 мл аспайтын болса, онда сіңірудің аяқталғанын көрсетеді. Тура осылай сіңіру операцияларын II, III ыдыстарда да жүргізеді.

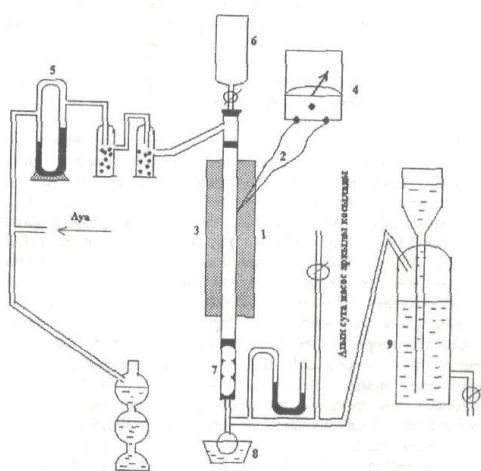
Анализ нәтижелерін есептеу және жазу. Анализ нәтижелерін қалыпты жағдайға газ заңдарының біріккен теңдеуі арқылы келтіреді. Анализденетін газдың компоненттерін есептеу үшін келесі формуланы қолданады:

Анализ нәтижелерін кесте түрінде береді:

Компоненттер құрамы	Сіңіруден кейін бюреткадағы газдың көлемі, мл	Газ құрамы, мас. %

Стационар қабатындағы катализатордың каталитикалық крекингтегі лабораториялық қондырғысы. Қондырғының сызба-нұсқасы 1-суретте көрсетілген. Реактор (1) биіктігі 900мм, диаметрі 25-35мм болатты түтікшеден дайындалған. Оның төменгі жағына торлы сеткадан қондырма қойылып, оның үстіне шыны мақта салынып, оған бір қабат түйіршіктелген алюмосиликатты катализатор (көлеммен алғанда өлшегіш цилиндрмен – 75-100мл), катализатор бетіне тағы да шыны мақта қойылып, оның үстіне бір қабат фарфордан қондырма орналастырылады. Қондырманың жоғарғы қабаты

реакторға берілетін шикізаттың булануын қамтамасыз ету. Реактордың орта бөліміне процесс кезіндегі температураны өлшеуді қамтамасыз ететін термомпара (2) орналасқан. Реактор – түтікшелі электрпешінің арасына (3) қойылған. Пештегі температура ЭПП - 0,9 (4) типті электронды потенциометрмен немесе ЛАТР-дың көмегімен реттеледі. Жүйедегі ауаны ығыстырып инертті орта жасау үшін және катализаторды регенерациялауға қажетті жыдамдықта инертті газды немесе ауаны үрлеу алдын-ала градуирленген реометр көмегімен жүзеге асырылады. Инертті орта – азот, аргон немесе көміртек диоксиді арқылы жасалады. Көлемі 100 мл бюреткадан (немесе Баландин типті бюретка) (6) шикізат реакторға жіберіледі. Бу және газ түріндегі крекинг өнімдері ұзындығы шамамен 400-500мм шыны кері тоңазытқыш (7) арқылы өтіп, негізгі крекинг өнімдері конденсацияланып, мұзбен салқындатылған көлемі 100 мл қабылдағышқа (8) келіп түседі, ал газдар қаныққан ас тұзының ерітіндісімен толтырылған градуирленген газометрге (9) жиналады. Газды құрамын анализдеуге мүмкіндігінше тәжірибе ортасындағы газды жинаған жөн. Ал анализден басқа тәжірибе барысында түзілген газ атмосфераға тартқыш шкаф арқылы жіберіледі де, оның жалпы көлемі тәжірибе уақытының шамасымен есептеледі.



1-сурет. Каталитикалық крекинг қондырғысының сызба-нұсқасы

Тәжірибе дайындау және жүргізу. Тәжірибені жүргізудің шарты: шикізатты жіберу жылдамдығы 0,5 – 1,0 мл/мин; процесс температурасы – 450-500⁰С. Оқытушы тәжірибе алдында нақты процесті жүргізу шартын көрсетеді.

Тәжірибені бастаудың алдында қабылдағышты және абсорберді өлшейді де, қайтадан жүйеге орналастырады. Кез-келген технологиялық процесті жүргізу үшін қондырғының саңылаусыздығы тексерілуі керек. Жүйенің саңылаусыздығы градуирленген газометр арқылы тексеріледі. Ол үшін бюретканы шикізатпен, газометрді тұзды ерітіндімен толтырады да, қондырғының бөлімдері жалғасқан жерлерінің саңылаусыздығын (герметикалығын) газометр көмегімен тексереді. Бюретканың шүмектерін, ауа және азот келетін жолдағы шүмектерді жауып, газометрдің төменгі шүмегін ашады. Егер қондырғы саңылаусыз болса, онда бірнеше минуттен кейін газометрден сұйықтықтың ағуы тоқтайды. Егер тоқтамаса, қондырғының жеке бөлімдерін нығыздап, қайта тексеру керек. Тәжірибені жүйе толық саңылаусыздалғаннан кейін бастауға болады. Процестің катализаторы толық жұмыс істеу үшін оны алдын-ала ауа үрлегіш көмегімен активтейді. Катализаторды – пешті электр көзіне қосып температураны 100-500⁰С-қа дейін ауа ағынында (ауа жіберу жылдамдығы 500мл/мин) 4-5 сағат активтейді. Яғни 100⁰С-та - 30 мин., 200⁰С-та – 30 мин., 300⁰С-та – 30 мин., 400⁰С-та – 60 мин., 500⁰С-та – 120 мин. активтеуді жүргізеді. Содан кейін ауаны жіберуді тоқтатып, жүйенің саңылаусыздығын тағы да тексереді. Реакциялық жүйеден ауаны ығыстыру үшін Кипп аппаратынан (жіберу жылдамдығы 300мл/мин) 5-минут көміртек диоксидін жібереді.

Реакторда температура берілген мөлшерден 5-10⁰С артқан кезде, шикізатты минутына бірнеше тамшымен жібереді. Содан кейін шикізатты жіберу жылдамдығын тапсырмаға сәйкес реттеп, пирометрден тәжірибе температурасын, монометрден (тұрақты қысымды) көрсетуін бақылайды. Крекинг процесі кезінде сұйық және газтәрізді крекинг өнімдерін жинайды. Шикізатты жіберіп болғаннан кейін, 5-10 мин мерзімінде крекинг өнімдері қабылдағышта қосымша конденсацияланады. Содан кейін реакция зонасынан крекинг өнімдерін толық ығыстыру үшін Кипп аппаратынан (300 мл/мин жылдамдықпен) 5-минут көміртек диоксидін жібереді. Процестің температурасын 150-200⁰С-қа дейін салқындатып, қабылдағышты жүйеден ажыратып мақсатты өнімді алады.

Катализаторды регенерациялау. Тәжірибе аяқталғаннан кейін ауа ағынында (жылдамдығы 500 мл/мин) -1,5 – 2,0 сағатта, 500⁰С температурада катализаторды регенерациялайды. Регенерациялау кезінде мұнай шикізатының крекинг процесінде катализатор бетінде түзілетін кокс өртелінеді. Өртеу кезінде түзілген СО₂ жалпы көлемін берілген температура және қысым жағдайында былай есептейді:

$$V = \frac{V_1 a_1 + V_2 a_2 + V_3 a_3}{100}$$

Мұндағы:

V – СО₂ жалпы көлемі, см³

V₁, V₂, V₃ ж.т.б – газометрге сәйкес жиналған 1-ші, 2-ші, 3-ші газ көлемі;

a₁, a₂, a₃ - газометрге сәйкес жиналған 1-ші, 2-ші, 3-ші газдағы СО₂ %-тік мөлшері;

Осыдан кокс мөлшері (2):

$$G_{\text{еіен}} = \frac{V * 273 * P * 12}{(t + 273) * 760 * 22,4}$$

Мұндағы:

P – атмосфералық қысым, мм сынап бағ.;

t - газометрдегі газ температурасы, 0⁰С

Алынған сұйық және газ өнімдердің массасын анықтау. Сұйық өнімдерінің шығымын қабылдағышпен, абсорберді тәжірибеге дейін және кейін өлшеу нәтижелерімен анықтайды. Шығым А қабылдағыш массасының тәжірибеден кейінгі массадан тәжірибеге дейінгі масса айырымының, абсорбердің тәжірибеден кейінгі массасынан тәжірибеге дейінгі масса айырымының қосындыларына тең. Алынған сұйық өнімдерді алдын ала хлорлы кальций кесектерімен құрғатып, шырша тәрізді дефлегматорлы колбаға салып, айдайды. Айдалынған өнімдерді алдын - ала өлшенген қабылдағышта жинайды. Өнімді айдағанда 200⁰С-ке дейін қайнаған бензин фракциясын айдап алады. Айдау колбасында қалған қалдық каталитикалық крекингте түзілген керосин-газойль фракциясы. Бензиннің және газойль фракциясының салмақ (%) шығымы жалпы жіберілген шикізатқа шаққан мөлшерімен көрсетіледі.

Алынған газ көлемін газометр және тәжірибе уақытының көрсеткішімен анықталынады. Крекинг газының массасын көлемі бойынша және эксперименталды түрде анықталған тығыздығы арқылы есептейді. Газдың тығыздығын анықтау үшін арнаулы бос пикнометрді алып, оның ішіндегі ауаны вакуумдық насос арқылы (насос қолмен механикалық жұмыс істегендіктен оны 200 рет айналдырады) сорады. Содан кейін пикнометр массасын аналитикалық таразыда өлшейді. Ауасыз бос пикнометрді газоанализаторға жалғап, оның ішін бюретка арқылы газбен толтырады. Пикнометрді газбен аналитикалық таразыда өлшейді. Өлшенген массалардың айырымы бойынша газдың тығыздығы келесі формуламен есептелінеді:

$$\gamma = v - a * 1000 / V_0,$$

мұндағы: a – ауасыз пикнометрдің массасы, г;

v – газ толтырылған пикнометрдің массасы, г.

Пикнометрдегі газдың көлемі қалыпты жағдайға келтіріледі:

$$V_0 = V P 273/760(273 + t),$$

мұндағы: V- бюреткадан жіберілген газ көлемі, см³;

P-атмосфералық қысым, мм сынап бағ.;

t-температура, °C.

Тәжірибе процесі кезінде пайда болған кокс шөгіндісінің мөлшерін, катализаторды регенерациялау кезінде алынған жану өнімдерінің мөлшері бойынша және соған сәйкес ондағы көмірқышқыл газының мөлшері бойынша есептейді.

Бастапқы шикізатпен крекинг өнімін анализдеу. Крекингтің шикізаты және алынған сұйық өнімдер – алкандардан, алкендерден, ароматты көмірсутектерден тұрады. Шикізаттағы және өнімдегі ароматты көмірсутектердің мөлшері сульфирлеу әдісімен анықтайды. Бұл әдіс ароматты көмірсутектердің күшті күкірт қышқылымен әрекеттесу қабілетіне негізделген. Ал қанықпаған көмірсутектер күшті күкірт қышқылымен әрекеттеспейді. Түзілген ароматты көмірсутектердің сульфокосылыстары күкірт қышқылында еріп, қышқылдық қабатқа өтеді. Сульфирлеу реакциясын арнаулы аспап сульфаторда жүргізеді. Сульфатор градуирленген түтікшемен жалғанған екі шардан тұрады. Төменгі шарға шүмек жалғанған. Жоғарғы шар қақпақпен жабылған. Жоғарғы және төменгі шарлар сұйықтықты араластыруға арналған. Сульфирлеу реакциясын 97,5-98 %-тік күкірт қышқылымен жүргізеді. Ол үшін төменгі шарға қабырғасына тигізбей мойыны ұзын цилиндр арқылы қышқылды құяды. Содан кейін тура сондай басқа цилиндр көмегімен анализденетін затты құяды. Аспапты тығынымен жауып ішіндегі затты жоғарғы шарға ауыстырады да, массаны 10 минут шайқайды. Содан кейін сульфаторды вертикаль бағытта 30-60 минут қояды. Көмірсутекті қабаттың азайғанын белгілейді. Ол негізінде бұл қабаттың төменгі бөлігі нольдік белгіден жоғарлайды да, ал жоғарғы жағы белгіден төмендейді. Өнімнің жалпы көлемінің азаюы ароматты көмірсутектерге сәйкес келеді. Көлемнің бастапқы шамадан өзгеруіне сәйкес алынған өнімдегі жалпы көмірсутектерді есептейді: мысалы, анализге 3 мл бензин және 9 мл күкірт қышқылы алынады, егерде анализден кейін күкірт қышқылының көлемі 0,3 мл артса, онда жалпы көмірсутектердің проценттік мөлшері: $x=0,3*100/3=10\%$. Ал ароматты көмірсутектердің мөлшері қанықпаған көмірсутектердің мөлшерін жалпы көмірсутектер мөлшерінен алып тастау арқылы анықталады.

Тура осылай жолмен өнімдегі қанықпаған көмірсутектердің мөлшері де анықталады. Сульфирлеу реакциясын 60%-тік күкірт қышқылының ерітіндісімен сульфаторда жүргізеді.

Көлемдік жылдамдықты есептеу. Каталитикалық крекинг процесінің маңызды параметрлерінің бірі процестің көлемдік жылдамдығы болып табылады. Процестің көлемдік жылдамдығын есептеу үшін реактордағы катализатор қабатының ұзындығын, реакциялық түтікшенің ішкі диаметрін өлшеу арқылы, катализатор көлемін білу керек. Көлемді келесі формуламен есептейді:

$$V_{\text{кат}} = 3,14 * d^2 * L / 4,$$

Мұндағы: d – реакциялық түтікшенің ішкі диаметрі, см;

L- катализатор қабатының ұзындығы, см.

Процесті бу фазасында $p=1$ қысымда жүргізгенде көлемді жылдамдықты есептеуге келесі формуланы қолданады:

$$W = 22400 V d / M V_{\text{кат}},$$

Мұндағы: V- сұйық реагенттің көлемі, мл;

d – сұйық реагент тығыздығы;

M- сұйық реагенттің молекулалық массасы, г/моль.

Сондай-ақ осы анықталған шамалар негізінде катализатордың активтілігін және реагенттің катализатор үстінде болу уақытын есептеуге болады. Гетерогенді реакциялардың жүруі катализатор бетінде реагенттің адсорбциясына байланысты, ол үшін газдың немесе будың біраз уақыт катализатормен жанасуы керек. Жанасу уақытының ұзақтығы гетерогенді катализде үлкен роль атқарады, сондықтан гетерогенді каталитикалық реакцияларда жанасу уақыты ескеріледі. Жанасу уақыты – газ немесе бу көлемі катализатор көлемімен жанасуда болуы, секундпен өрнектеледі де, келесі формуламен есептеледі:

$$\text{Жанасу уақыты} = 3600/W.$$

Катализатор активтілігі – түзілген өнімнің массасын бірлік уақытпен катализатор көлемінің көбейтіндісіне қатынасын айтады. Активтілік келесі формуламен өрнектеледі:

$$A_{\text{кат}} = g/\tau V_{\text{кат}}$$

Мұндағы: g- өнімнің массасы, г;
 τ – бірлік уақыт мөлшері, сек.;
 $V_{\text{кат}}$ – катализатор көлемі, мл;

Катализаторды дайындау. Крекингтеу катализаторы ретінде табиғи немесе жасанды түрінде дайындалған алюмосиликаттарды қолданылады. Крекинг катализаторын жұмыстан бір апта бұрын дайындайды.

Табиғи катализатордың негізгі ағартатын балшық (отбеливающая глина), (мысалы Қазақстандық бентонит балшығы). Балшықты ұсатып ұнтақтайды және су қыздырғышында дөңгелек түпті кері тоңазытқыш жалғасқан колбада үздіксіз араластырып, 6-сағат 20% H_2SO_4 ертіндісінде өңдейді. Содан кейін балшықты декантациялау әдісімен қышқылдан сумен жуады. Осыдан кейін осы массаны 1-2 күн мерзімінде ауада құрғатып, цилиндр түріне қалыптайды, диаметрі 55 мм түйірлерге ұнтақтайды, 110⁰C температурада 4-сағат құрғатқыш шкафта құрғатады. Соңғы рет катализаторды реакторда құрғату және қыздыру 500-550⁰C ауа ағынында жүргізіледі.

Тәжірибе нәтижесін кестеге жинастырады және материалдық баланс құрады:

Тәжірибе шарты					Алынған өнім				Шығын	
Шикізат	Шикізатты беру жылдамдығы мл/мин	Тәжірибе температурасы, ⁰ C	Көлемділік, сағ ⁻¹	Жібеген шикізат	Сұйық өнім		Газ	Кокс	г	%
					г	%				

Бақылау сұрақтары

1. Каталитикалық крекингті не үшін жүргізеді.
2. Каталитикалық крекингтің шикізаты не.
3. Ағаш рет қолданылған катализатор қандай, оның артықшылығы, кемшілігі.

4. Қазіргі кезде қандай катализаторлар қолданылады.
5. Ол катализаторлар ерекшелігі қандай.
6. Катализатордағы қышқылдық орталықтардың типі қандай.
7. Протонды және аprotонды орталықтар деген не.
8. Көмірсутек молекулаларының катализатордың активті орталықтарымен әрекеттесу механизмі қандай.
9. Катализатордағы қышқылдық орталықтарды қалай анықтайды.
10. Алкандардың өзгерісі қалай жүреді.
11. Алкендердің химиялық өзгерісі қандай механизммен жүреді.
12. Нафтендердің өзгерісінің механизмі қандай.
13. Ароматты көмірсутектердің өзгерісінің механизмі қандай теорияға бағынады.
14. Гетерогенді-каталитикалық реакцияның жүру заңдылықтары қандай.

Тесттік тапсырмалар

1. Каталитикалық крекингтің химизмі қандай механизммен жүреді.
 - A. Радикалды
 - B. Иондық
 - C. Радикалды-иондық
 - D. Радикалды-тізбекті
 - E. Молекулалық
2. Аprotонды орталықта каталитикалық активтіліктің тасымалдаушысы не.
 - A. Координациялық саны 5-ке тең алюминий атомы
 - B. Координациялық саны 3-ке тең алюминий атомы
 - C. Координациялық саны 4-ке тең алюминий атомы
 - D. Координациялық саны 5,4-ке тең алюминий атомы
 - E. Координациялық саны 6-ға тең алюминий атомы
3. Аprotонды орталықтағы координациялық қанықпаған алюминий атомы қандай роль атқарады.
 - A. Электрон доноры
 - B. Электрон акцепторы
 - C. Донор, әрі акцептор
 - D. Тотықтырғыш
 - E. Тотықсыздандырғыш
4. Алюмосиликатты катализатор құрамында судың түрлері қандай.
 - A. Молекулалық су
 - B. Молекулалық және ионданған су
 - C. Химиялық байланысқан, физикалық су
 - D. Химиялық ионданған су
 - E. Кристалданған су
5. Табиғаты бойынша алмосиликатты катализаторлар қандай.
 - A. Күшті қышқылдар
 - B. Күшті негіздер
 - C. Әлсіз негіздер
 - D. Әлсіз қышқылдар
 - E. Амфотерлі
6. Каталитикалық крекингтің шикізаты:
 - A. Мұнай
 - B. Дизельды отын
 - C. Вакуумды газойль
 - D. Бензин
 - E. Лигроин

7. Өзгеріс кезінде түзілген карбокатиондардың қайсысы тұрақты.
- A. Біріншілік
 - B. Екіншілік
 - C. Үшіншілік
 - D. Төртіншілік
 - E. Аталғанның бәрі
8. Гетерогенді-каталитикалық реакция қанша сатыдан тұрады.
- A. 2
 - B. 4
 - C. 6
 - D. 5
 - E. 7
9. Мұнайдың құрамы:
- A. Қатты отынның ацетиленінен тұрады
 - B. Көмірсутектердің қоспасынан тұрады
 - C. Көмірсутекті газдар мен металл гидраттарының қоспасынан тұрады
 - D. Асфальтен мен карбон қышқылдарының қоспасынан тұрады
 - E. Спирттер мен көмірсутектердің қоспасынан тұрады
10. Мұнайды біріншілік өңдеу процесі:
- A. Сусызданды
 - B. Ашықтануы
 - C. Тура айдау
 - D. Тұзсыздандыру
 - E. Газсыздандыру
11. Мұнайды өңдеуге дайындау әдісі:
- A. Термиялық крекинг
 - B. Сусыздандыру
 - C. Вакуумда айдау
 - D. Газдармен қанықтыру
 - E. Олефиндерді бөлу
12. Бензиннің октан санын қалай арттырады.
- A. Ацетон қосу
 - B. Отынды газсыздандыру
 - C. Қосарланған олефиндерді енгізу
 - D. Тетраэтилқорғасынды қосу
 - E. Тиофенмен қанықтыру
13. Мұнай құрамындағы негізгі металдар.
- A. Pt және Pd
 - B. Fe және Co
 - C. Ni және V
 - D. Mn және Sn
 - E. Mo және Cu
14. Мұнайды өңдеген кезде құрамындағы металдар қандай қасиет көрсетеді.
- A. Ингибитор
 - B. Катализатор
 - C. Промоутор
 - D. Катализаторды улайды
 - E. Катализаторды тасымалдайды

Комплексті тапсырмалар

Мұнай және мұнай өнімдерін өңдеу

1 вариант

Бастапқы мәліметтер. Шикі мұнайды жолай газдардан тазартып, тұрақтандырады. Жолай газдарды этаноламинмен экстракциялап, күкіртсутекті оның қышқыл тұзы түрінде бөледі. Тұрақтандырылған мұнайды қондырғыда айдап, бензин, реактивті, дизелді отындар алады. Кең фракцияны каталитикалық крекингілеп, одан крекинг-бензин, крекинг-газ, дизелді отындар алады. Тура айдалған бензинді қысқа фракцияларға бөліп, әрбіреуін риформингке ұшыратып бензол, толуол, ксилол қоспаларын алады.

Тапсырманың мазмұны. 1. Тапсырмада берілген заттардың ауысуын және өзгерісін көрсететін материалдық-ағыстық сызба-нұсқаны құрастыру керек. 2. а) Тура айдалған мұнай өнімдерінің массасын; ә) жолай газдан күкіртсутекті бөлетін этаноламиннің массасын; б) кең фракцияның каталитикалық крекинг өнімдерінің массасын; в) крекинг-газ құрамындағы этиленнің массасын; г) тура айдалған бензин фракциясын ароматтаудан алынған бензол, толуол, ксилол қоспасының массасын; д) крекинг-газдың төменгі жану жылуын анықтау керек.

2 вариант

Бастапқы мәліметтер. Шикі мұнайды жолай газдардан тазартып, тұрақтандырады. Жолай газдарды аммиактың ерітіндісімен экстракциялап, күкіртсутекті оның қышқыл тұзы түрінде бөледі. Тұрақтандырылған мұнайды қондырғыда айдап, бензин, реактивті, дизелді отындар алады. Кең фракцияны каталитикалық крекингілеп, одан крекинг-бензин, крекинг-газ, дизелді отындар алады. Тура айдалған бензинді каталитикалық риформингке ұшыратып, октан саны жоғары бензин және риформинг-газ алады.

Тапсырманың мазмұны. 1. Тапсырмада берілген заттардың ауысуын және өзгерісін көрсететін материалдық-ағыстық сызба-нұсқаны құрастыру керек. 2. а) Тура айдалған мұнай өнімдерінің массасын; ә) жолай газдан күкіртсутекті бөлетін аммиактың массасын; б) кең фракцияның каталитикалық крекинг өнімдерінің массасын; в) риформинг-газдың құрамындағы бутанның массасын; г) каталитикалық риформингтен алынған бензиннің массасын; д) риформинг-газдың төменгі жану жылуын анықтау керек.

Есептеулерге арналған көрсеткіштердің кестесі

Көрсеткіш	Өлшемі	Вариант	Көрсеткіш мәндерінің интервалы
Өңделетін шикі мұнай массасы	т	1,2	$6 \cdot 10^6 - 7 \cdot 10^7$
Жолай газдың шығымы	%	1,2	0,10-0,13
Жолай газдың құрамы:	%	1,2	
Азот			0,08-0,10
Күкіртсутек			0,05-0,07
Метан			0,56-0,58
Этан			0,10-0,12
Пропан			0,08-0,10
Бутан			0,03-0,05
Пентан			0,02-0,05
Тура айдалған мұнайдың өнімдері:	%	1,2	
Бензин			0,22-0,25
Реактивті отын			0,12-0,15
Дизельді отын			0,20-0,24
Кең фракция			0,30-0,34

Каталитикалық крекинг өнімдерінің шығымы: Бензин Дизелді отын Крекинг-газ	%	1,2	0,42-0,46 0,25-0,30 0,10-0,12
Крекинг-газдың құрамы: Сутек Метан Этан Пропан Этилен Пропилен Бутилен	%	1,2	0,09-0,10 0,25-0,27 0,10-0,12 0,035-0,045 0,22-0,25 0,15-0,18 0,075-0,110
Аммиак ерітіндісінің концентрациясы	%	2	0,25-0,28
Риформинг өнімінің шығымы: Бензин Риформинг-газ	%	2	0,70-0,75 0,12-0,14
Риформинг-газдың құрамы: Сутек Этан Пропан Бутан Этилен	%	2	0,080-0,085 0,050-0,055 0,36-0,38 0,39-0,41 0,090-0,095
Ароматталған бензин шығымы: Бензол Толуол Ксилол	%	1	0,28-0,35 0,35-0,40 0,20-0,26
Ароматталған фракцияның шығымы	%	1	0,88-0,92
Ароматталған фракцияның құрамы: Бензол Толуол Ксилол	%	1	0,28-0,32 0,40-0,45 0,40-0,45

Жартылай жабық тесттік тапсырмалары

(Бос орындарды толтырыңыз)

- 1) Каталитикалық крекинг қондырғысында екі циркулярлейтін ағыс бар. Қондырғының бір бөлігінде бұл _____, ал екінші бөлігінде _____ деп аталады.
- 2) Жұмыс істеген катализатор бетінде _____ жиналады. Регенерация процесі барысында ол _____ реакцияласып _____ және _____ түзеді.
- 3) Каталитикалық крекинг міндеті _____ сапалы _____ айналдыру.
- 4) Каталитикалық крекинг шикізаты _____ және _____ қондырғыдан келіп түседі.

- 5) Крекинг – газ құрамында _____ бар, бірақ қаныққан газ ағынының құрамында жоқ.
- 6) Каталитикалық крекинг фракциялық өнімінің қалдығы _____ деп аталады және шикізатпен _____ араластырады.
- 7) Каталитикалық крекинг өнімдері _____, _____ сондай-ақ _____ тұрады.
- 8) Каталитикалық крекинг аппаратурасы _____ және _____, _____ тұрады.
- 9) Каталитикалық крекинг процесі басталуы үшін _____ қажет, крекинг кезінде температура _____ болу керек.
- 10) Мұнай өңдеуде қолданылатын гетерогендік катализаторлар _____, _____ және _____ бөлінеді.
- 11) Гетерогенді – каталитикалық реакция келесі сатылар _____ арқылы жүреді.
- 12) Барлық процестің жылдамдығы _____ анықталады.
- 13) Егерде баяу саты химиялық реакция болса, процесс _____ болады.
- 14) Активті адсорбция кезінде молекула бетте _____ ұсталады.
- 15) Молекула бетте болған кезде _____ немесе басқа _____ ауысады. Осыны молекуланың өмір сүру уақыты деп атайды, ол _____ формуламен өрнектеледі.
- 16) Көмірсутектердің крекингінің активті катализаторы _____.
- 17) Осы катализатор қатысында крекинг процесінің кемшіліктері _____.
- 18) Қазіргі уақытта кеңінен қолданылатын крекинг катализаторы _____.
- 19) Бұл катализатордың басты артықшылықтары _____.
- 20) Крекинг осы катализатор қатысында _____ және _____ және _____ жүреді.
- 21) Автомобильді бензин алу үшін _____ дистиллят шикізат болып табылады.
- 22) Авиационды бензин алу үшін _____ дистиллят шикізат болып табылады.
- 23) Каталитикалық крекинг бензинінің топтық құрамы _____; _____; _____; _____.
- 24) Қазіргі түсініктер бойынша алюмосиликатты катализаторда _____ каталитикалық орталықтар бар.
- 25) Алюмосиликатты катализатор құрамында _____ және _____ сулар бар. _____ су катализатор активлігін төмендетеді, сондықтан _____ бөліп жібереді.
- 26) Алюмосиликатты катализатордағы орталықтар құрылымы _____ және _____ формуламен өрнектеледі.
- 27) Протонды орталықта каталитикалық функцияны _____, ал апротонды орталықта _____ атқарады.
- 28) Апротонды орталықтағы алюминий атомы _____ болып табылады.
- 29) Протонды қышқылды орталықтағы - _____, қанықпаған көмірсутек молекуласымен әрекеттесіп _____ айналдырып, ол одан әрі _____.

- 30) Хемосорбция процесінде көмірсутек молекуласындағы реакциялық қабілетті орталықтың _____, алюминий атомының _____ өтеді. Нәтижесінде _____ жүріп, бір байланыстың _____ жеңілдейді де, молекула _____ бойынша өзгереді.
- 31) Каталитикалық крекинг процесінің ерекшеліктері:
1. _____
 2. _____
 3. _____
 4. _____
 5. _____
- 32) Түзілген _____ басқа көмірсутектер молекуласымен әрекеттеседі, не болмаса _____ ұшырайды.
- 33) Парафиндерге карағанда _____ жеңіл крекингтеледі, бұл олардың _____ қабілетімен түсіндіріледі.
- 34) Олефиндер _____ бойынша ыдырап, олар _____, _____ және _____ ұшырайды.
- 35) _____ каталитикалық крекингі _____ есе жылдам жүреді. Олар _____ бойынша ыдырап, _____ және _____ реакцияларына түседі.
- 36) Ароматты көмірсутектер _____, _____ крекингке ұшырамайды. _____ крекингі бұл жағдайда аздап жүреді.
- 37) _____ жеңіл крекингке ұшырайды.
- 38) Термиялық крекингтің ерекшелігі олар _____ бойынша емес, бүйір тізбектің _____ бойынша ыдырауға түседі.
- 39) Біріншілік карбкатиондар _____ есебінен _____ карбкатиондарға өзгереді.
- 40) Карбкатиондар тұрақтануға ұмтылады. Тұрақтану _____ үзілуі бойынша жүреді.
- 41) Крекинг процесінде _____ және _____ карбкатиондар көптеп саналады, сондықтан олар ыдырағанда _____ және _____ түзіледі де, каталитикалық крекингтің _____ түзеді.
- 42) Қаныққан көмірсутектердің молекуласымен _____ соқтығысып, олардан _____ үзіп алады.
- 43) Олефин молекуласымен _____ соқтығысып _____ бойынша қосылады, не болмаса _____ бөледі.
- 44) Ветта – байланыстың жеңіл үзілуі келесі қатарда _____ артады.
- 45) Нафтендердің изомеризациялану химизімін - _____ түзілуі туралы жорамал жақсы түсіндіреді.

Әдебиеттер

1. Практикум по технологии переработки нефти. Изд. 3-е, под ред. проф. Е.В.Смидович, доц. И.П.Лукашевич. М. Изд-во «Химия», 1978. - С. 534
2. . А.Ф. Платэ. Краткое руководство к практикуму по химии нефти. 1961. - С. 134
3. Б.М. Рыбак. Анализ нефти и нефтепродуктов. Госхимиздат.1962. - С. 865
4. Б.В. Беляниц, В.Н.Эрих. Технический анализ нефтепродуктов и газа. М., «Химия», 1975. С.302. - С. 424
5. Қ.А.Жұбанов, Ж.Қ. Қайырбеков, Қ.Қ. Жардамалиева және т.б. Жалпы химиялық технологияның практикалық курсы. Оқу құралы. Алматы, 2000. - С. 215
- 6.Крекинг нефтяных фракций на цеолитсодержащих катализаторах. Под. ред. С. Н. Хаджиева. М., Химия, 1982. - С. 384
- 7.Смидович Е. В. Технология переработки нефти и газа. Крекинг нефтяного сырья и переработка углеводородных газов (ч. 2). М., Химия, 1980.- С. 334
8. В. М. Капустин, С. Г. Кукес, Р. Г. Бертолусини. Нефтеперерабатывающая промышленность США и бывшего СССР. М., Химия, 1995.- С. 334