ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

М. ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН МЕМЛЕКЕТТІК УНИВЕРСИТЕТІ

Е.Қ. Ақынбеков, А.С. Колесников, Ж.Р. Орынбаева

ЖЕР ЖӘНЕ МҰНАЙ ҚАБАТЫНЫҢ ФИЗИКАСЫ

Мамандығы 5В070800-«Мұнайгаз ісі» студенттеріне арналған оқу құралы

ШЫМКЕНТ 2014

ОЖК 533(075.8)
ББК

Пікір жазғандар :

1. Балабеков О.С. – Қазақстан Ұлттық Ғылыми Академиясының академигі, т.ғ.д., профессор, Шымкент мемлекеттік педагогикалық иеституты ректорының ғылыми жұмыстар және инновациялық жобалар бойынша кеңесшісі;
2. Голубев В. Г. – т.ғ.д., М. Әуезов атындағы ОҚМУ профессоры;
3. Тилегенов И.С. - т.ғ.д., М. Х. Дулати атындағы ТарМУ профессоры;

Е.Қ. Ақынбеков, А.С. Колесников, Ж.Р Орынбаева.
Жер және мұнай қабатының физикасы. М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Оқу құралы.- Шымкент: 2014.- 92б.

ISBN

Оқу құралы кеуек денелердің және кеуектерде орналасатын сұйық пен газдардың қасиеттерін сипаттауға арналған. Осындай деректер көмірсутектердің кеніштегі бастапқы қорын анықтауға мүмкіндік береді. Осындай мәліметтер кен орнын игерудің әр түрлі кезеңдерінде қабатта өтетін процестер туралы объективті көзқарас алуға мүмкіндік береді. Кен орнын игеруді жобалау, қажет жағдайда кен орнына әсер етудің жасанды әдістерін таңдау осындай мәліметтерге негізделген.

Оқу құралы студенттерге, магистранттарға, докторанттарға, ғылыми және мұнайгазісі облысында жұмыс істейтін инженер-техникалық қызметшілерге арналған.

Оқу құралында студенттер өзінің білімін бақылай алатын жағдай жасалынған, демек, оқу құралы бақылау сұрақтарымен қамтамасыз етілген.

ОЖК 533(075.8)
ББК

ISBN

© Ақынбеков Е.Қ., Колесников А.С., Орынбаева Ж.Р., 2014.

Мазмұны

Кіріспе..... 5
1 Тау жыныстарының коллекторлық қасиеттері..... 7
1.1 Тау жынысы - коллекторларың түрлері..... 7
1.2 Тау жынысының кеуектілігі..... 8
1.2.1. Кеуектіліктің түрлері..... 10
1.3 Өткізгіштік..... 13
1.3.1 Мұнай және газдың кеуекті ортада сызықты фильтрациясы..... 14
1.3.2. Кеуекті ортада мұнай мен газдың радиалды фильтрациясы..... 17
1.3.3. Өткізгіштігі әр түрлі қатпарлардан тұратын қабаттың өткізгіштігін бағалау..... 19
1.3.4. Өткізгіштік қасиет тән тау жыныстарының жіктемесі.... 21
1.3.5 Өткізгіштік пен кеуектіліктің арасындағы тәуелділік..... 22
1.3.6 Өткізгіштіктің түрлері..... 26
1.4. Меншікті бет..... 29
1.5. Тау жынысының карбонаттылығы..... 30
1.6. Тау жыныстарының механикалық қасиеттері..... 31
1.7. Тау жыныстарының жылулық қасиеттері..... 33
2 Газдың, мұнайдың және қабат суларының құрамы және физикалық қасиеттері……... 36
2.1 Табиғи газдардың құрамы мен физикалық-химиялық қасиеттері..... 36
2.1.1. Табиғи газдың құрамы..... 36
2.1.2 Көмірсутекті газдардың физикалық-химиялық қасиеттері..... 38
2.1.3 Газдардың мұнайдағы және судағы ерігіштігі..... 45
2.1.4. Мұнайдың газбен қанығу қысымы..... 48
2.2. Мұнайдың құрамы және физикалық - химиялық қасиеттері..... 49
2.2.1. Мұнайдың физико-химиялық қасиеттері..... 51
2.2.2 Мұнайгазды кеніштің шегіндегі мұнай қасиеттерінің айырмашылығы..... 58
2.3 Қабат суының құрамы мен физикалық – химиялық қасиеттері..... 59
2.3.1 Қабат суының физикалық – хмиялық қасиеттері..... 60
3 Көмірсутегі жүйесінің фазалық жағдайы..... 66

3.1 Бір компонентті жүйелердегі фазалық ауысымдар сұлбасы…….. 66
3.2. Мұнай, су және газдағы фазалық ауысулар..... 69
4. Қабат- су- мұнай- газ жүйесінің беттік- молекулалық қасиеті..... 72
5 Кеуек ортадан мұнайды, конденсатты және газды ығыстырып шығарудың физикалық негіздері..... 78
5.1. Қабат энергиясының көздері..... 78
5.2. Кеніштегі күштер..... 78
5.3 Қабат сұйығын фильтрациялау кезіндегі беттік құбылыс және Дарси заңының бұзылу себептері..... 81
5.4 Қабаттан мұнайды газ ненмесе сумен ығыстырудың жалпы сұлбасы..... 81
5.5. Кеніште әртүрлі жағдайда дренаждау кезіндегі қабаттың мұнайбергіштігі..... 84
5.6 Кеуекті ортадан сумен мұнайды ығыстыру кезіндегі капиллярлы процестердің рөлі..... 87
5.7 Мұнайбергіштіктің сумен мұнайды ығыстыру жылдамдығына тәуелділігі..... 87
Қорытынды..... 89
Пайдаланылған әдебиеттер..... 90

Кіріспе

Мұнай туралы мәліметтерді адамдар төрт мың жылдан астам уақыт біледі.

Өркениет басталған уақытта тұрмыста және техникада мұнай үлкен рөл атқарған жоқ. Бізге оны гректер, мысырлықтар және ассириялықтардың медицина мақсатында, құрылыс жасауда (асфальт), бөлмелерді жарықтандыру мен дөңгелектерді майлауда қолданғаны жайында ғана аздап мәліметтер белгілі.

Соңғы жүз жылдықта ғана мұнай арзан жанармай мен құнды өнімдердің қайнар көзі деп танылды. Қазіргі уақытта мұнай мен оны өңдеуден алынған өнімдерінсіз техника мен кәсіпшіліктің дамуын көзге елестетуге болмайды.

Мұнайдан іштен жану қозғалтқыштары, газ турбиналары мен қазандық қондырғылар үшін жанар-жағар майлар, жол жабдықтары үшін майлар, битумдар, резеңке өндірісі үшін күл, электродтар үшін кокс және көптеген басқа кәсіпшіліктер мен қолданыс тауарлары үшін қажетті заттар өңдіріледі.

Газдар- ілеспе, табиғи, мұнай өңдеуден кейінгі газдар, ароматты көмірсутегілер, сұйық және тығыз парафиндер-мұнайхимиясы кәсіпшілігі үшін ауыстыруға келмейтін шикізат.

Осындай арзан газ және мұнай шикізаты негізінде полимерлі материалдар, синтетикалық талшықтар, каучук, жууға арналған заттар, спирттар, альдегидтер және басқа да көптеген құнды материалдар өндіріледі.

Адамдардың ғылыми-техникалық базасының дамуы, қоры бойынша ірі мұнай және газ кен орындарын игеру және пайдалануға енгізу мұнай қабатының физикасы облысындағы ірі жетістіктерге жетудің арқасында орындалып отыр. Мұнай және газ қабаттары, тау жыныстарының коллекторлық және фильтрациялық қасиеттері (кеуектілігі, өткізгіштігі, қанығушылығы, электр өткізгіштігі), қабат сулары мен газдарының физикалық қасиеттері, шекті көмірсутекті жүйелердің фазалық жағдайына қатысты алынған соңғы мәліметтер тәжірибеде ойдағыдай қолданылуда.

Игеру жүйесінің едәуір жетілдірілген жобасымен қабат физикасы облысындағы прогресс, мұнай және газ кен орындарын сауатты пайдалануға, қабаттардың компонент бергіштігін арттыру әдістерін игеру мен енгізуге оң ықпал етеді.

Қазіргі заманғы мұнай және газ кен орындарын рационалды игерумен айналысатын инженер-мұнайшы, кеніштің геологиялық құрылымын, оның физикалық сипатын, жынысты қанықтыратын мұнай, газ және судың физикалық және физикалық-химиялық қасиеттерін жақсы білуі керек, қабатты ашқанда және оны ары қарай игеру барысында алынған мәліметтерді дұрыс өңдеп, бағалай алуы керек. Бұл мәліметтер кеніштегі бастапқы көмірсутегінің қорын анықтауға мүмкіндік береді. Олар игерудің түрлі кезеңінде қабатта болып жатқан процестер жайында объективті көз қараста болу үшін қажет. Бұл мәліметтер комплексінде кен орынды игерудің жобасы, егер мүмкін болса кенішке жасанды әсер ету әдістерінің бірін таңдау негізделеді.

Берілген оқу құралы тау жыныстарындағы кеуекті орталардың қасиеттерін, оларды қанықтыратын сұйықтықтар мен газдарды сипаттауға және оларды практикалық есептеулерде қолдануға арналған.

1 Тау жыныстарының коллекторлық қасиеттері

1.1 Тау жынысы - коллекторларың түрлері

Мұнай және газ кен орындарының үлкен бөлігі коллекторлардың үш түріне ұштастырылған – түйіршікті, жарықшақты және аралас құрылымдағы. Бірінші түрге құмтас-алевритті тау жыныстарынан құрылған коллекторлар жатады, олардың кеуекті кеңістігі түйіршік арасындағы қуыстардан тұрады. Мұндай кеуекті кеңістікті құрылыммен әктас және доломиттердің кейбір қабаттары сипатталады. Таза жарықшақты коллекторларда (тек карбонаттардан құрылған) кеуекті кеңістік жарықшақтар жүйесінен түзіледі. Бұл кезде жарықшақтар арасындағы коллектордың бөліктері тығыз аз өткізгіш жарықсыз жыныстар блогынан тұрады, олардың кеуекті кеңістігі сүзу (фильтрация) процесіне қатыспайды десе де болады. Алайда, практикада, көбінесе аралас типті жарықшақты коллекторлар кездеседі, олардың кеуекті кеңістіктері жарықшақтар жүйесімен қатар, блоктардың кеуекті кеңістігін, сондай-ақ каверналарды және карсттарды қосады.

Талдау көрсеткендей дүние жүзіндегі мұнай қорының 60% жуығы құмтас және құмды қабаттарға, 39% – карбонатты шөгінділерге, 1% – желдетілген метаморфты және атқыланған жыныстарға ұштастырылған. Демек, шөгінділерден құрылған тау жыныстары – мұнай мен газдың негізгі коллекторлары.

Шөгінділердің түзілу шарттарының түрлілігіне байланысты түрлі кен орындардың коллекторлық қасиеттері кең ауқымда өзгеруі мүмкін. Көптеген коллекторлардың сипаттық ерекшеліктері– олардың түзілуінің қатпарлылығы, қабат қасиеттерінің түрлі бағыттарда өзгермелілігі, қабат қалыңдығы және басқа да параметрлер.

Мұнай қабаты мұнай, газ және суға қаныққан тау жынысы түрінде кездеседі.

Тау жынысы бұл пішіні мен өлшемдері түрліше, белгілі бір құрамы мен құрылымы бар табиғи қатты минералды, жер қабығында түзілетін денелер. Тау жыныстары үш түрге бөлінеді: шөгінді, атқыланған (магмалық) және метаморфты. **Шөгінді тау жыныстары** жер қабығының беткі бөлігінде шөгіндінің термиялық шарттар нәтижесінде түрленуінен пайда болады, олар едәуір ертедегі жыныстардың, атқылаған вулкандардың,

организмдер мен өсімдіктердің механикалық немесе химиялық жолмен ыдырауынан пайда болған өнімдері.

Тау жынысының өз бойынан сұйықтық пен газдарды өткізіп, ұстап тұру қасиетін сүзу (фильтрациялы)-сыйымды қасиет (ССҚ) деп атайды.

Мұнай қабаттарының сүзу (фильтрациялы) және коллекторлық қасиеттерін келесі негізгі көрсеткіштермен сипаттайды:

-тау жынысының гранулометриялық құрамы (практикум лаборат. бөлімін қара);
- кеуектілігі;
- өткізгіштігі;
- тау жынысының мұнай, газ, сумен қаныққандылығы;
- меншікті беті;
- капилярлы қасиеттері;
- механикалық қасиеттері.

Осы параметрлердің әрқайсысын жеке-жеке қарастырамыз.

Бақылау сұрақтары:

1 Тау жыныстары туралы түсінік?

2 Коллекторлардың қандай түрлерін білесіз?

3 Шөгінді тау жынысын қалай түсінесіз?

4 Мұнай қабатын қалай түсінесіз?

5 Тау жынысының сіңіру және өткізу қассиеттері қандай құбылысқа негізделген?

6 Коллектор дегеніміз не?

1.2 Тау жынысының кеуектілігі

Тау жынысының кеуектілігі дегеніміз тау жынысында кеуектердің (бос қуыстардың) бар болуын атайды. Кеуектілік тау жынысының сұйықтық пен газды өз бойына сіңіру (сыйдыру) қасиетін сипаттайды.

Пайда болу тегіне қарай кеуектердің келесідей түрлерін ажыратады:

1 Сынған материалдар түйіршігінің арасындағы кеуектер (кристалларалық кеуектер), қатпарлану жазықтықтарының арасындағы аралықтар – бұл тау жынысының түзілуімен қатар құрылған бірінші кеуектер.

2 Жер асты суының циркуляциясы нәтижесінде түзілген ерудің нәтижесінде пайда болған кеуектер, белсенді флюидтармен жыныстың минералды құрамдаушысының еру процесінің салдарынан жыныстар түзіледі, мысалы, карст пайда болғанға дейін сілтілену.

3 Жыныс көлемінің кішіреюіне дейін алып келетін, химиялық процес әсерінен пайда болған кеуектер мен жарықшақтар. Мысалы, әктастың ($CaCO_3$) доломитке ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) айналуы. Доломиттелу кезінде жыныс көлемінің 12% шамасында күшіреюі жүреді, бұл кеуектердің көлемінің ұлғаюына алып келеді. Ұқсас түрде каолинизация процесі $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$ өтеді.

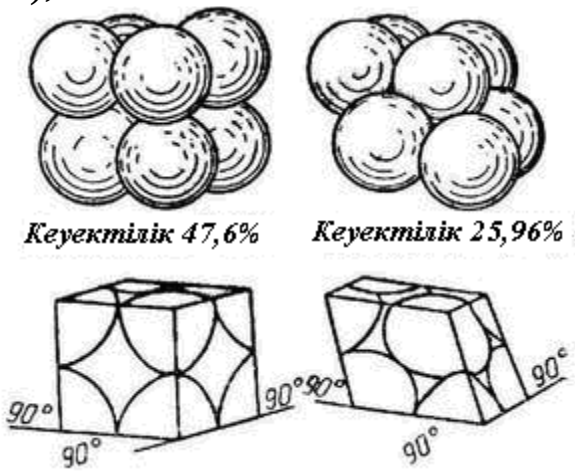
4 Желдетілу, кристалданудың эрозионды процестерінің есебінен түзілген қуыстар мен жарықшақтар.

5 Жер қабығындағы кернеуде тектоникалық процестер есебінен түзілген қуыстар мен жарықшақтар.

(2) - (5) кеуектердің түрлері– бұл, геологиялық-минералогиялық немесе химиялық процестер кезінде түзілген екінші түрдегі кеуектер.

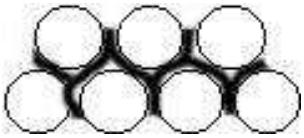
Кеуектердің көлемі келесіге тәуелді болады:

- түйіршіктердің пішіні мен өлшемі;
- түйіршіктердің іріктелуі (іріктелу қаншалықты жақсы өтсе, кеуектілік соншалықты жоғары болады);
- түйіршіктердің жатуы, мысалы куб түрінде орналасқан кездегі кеуектілік ≈ 47,6%, ромбы түрде орналасқан кезде – 25,96% құрайды (1.1 сурет);

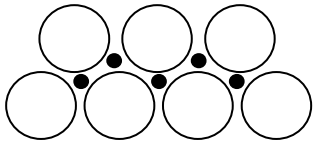


1.1 сурет- Кеуекті материалды құрайтын бір өлшемді сфералық түйіршіктердің түрліше орналасуы: а – аз тығыздықты куб түріндегі орналасу, б – едәуір ықшам ромб түріндегі орналасу.

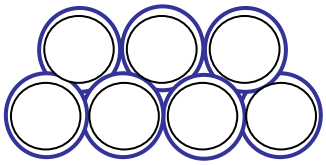
- түйіршіктердің біртепктілігі және домалануы;
- цемент түрлері (1.2 сурет).



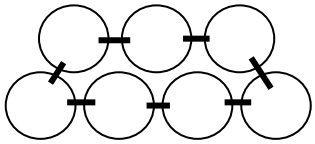
а. Цементтің базальтты түрі (атқыланған) m = 3-7%



б. Цементтің кеуекті түрі m = 7-12%



в. Цементтің қабыршақты түрі m = 12-16%



г. Цементтеудің жанаспалы түрі m = 16-26%

1.2 сурет. Тау жыныстары цементтерінің түрлері

Кеуектердің барлық түрлері де флюидтармен толтырылмаған: сумен, газбен және мұнаймен. Кеуектердің бір бөлігі жекеленген болып келеді, негізінен бұл ішкі кеуектер.

Бақылау сұрақтары:

1 Тау жынысының кеуектілігі туралы түсінінік.
2 Пайда болуына байланысты кеуектіліктің түрлері.
3 Кеуектің көлеміне әсер ететін белгілерді айтыңыз.
4 Біріншілей кеуектің анықтамасын беріңіз.
5 Екіншілей кеуектің анықтамасын беріңіз.

1.2.1. Кеуектіліктің түрлері

Жалпы (толық, абсолютті) кеуектілік – барлық ашық және жабық кеуектердің қосындысы ($V_{кеу}$).

Ашық кеуектілік бір-бірімен байланысқан кеуектер көлеміне ($V_{байлан}$) эквивалентті және $м^3$, $см^3$ өлшенеді.

Практикада кеуектілікті сипаттау үшін **бөлшек** немесе **пайыздық** түрде берілген, **кеуектілік коэффициенті (m)** қолданылады.

Жалпы кеуектіліктің коэффициенті (толық, абсолютті) ($m_п$)

барлық кеуектердің көлеміне тәуелді болады:

$$m_{П} = \frac{\sum V_{кеу}}{V_{үлгі}} \times 100\% \qquad (1.1)$$

Ашық кеуектілік коэффициенті (m_o) бір-бірімен байланысқан кеуектердің көлеміне тәуелді:

$$m_{ж} = \frac{\sum V_{кеу.байл.}}{V_{үлгі}} \times 100\% \qquad (1.2)$$

Эквивалентті кеуектілік коэффициенті ($m_{эф}$.) тау жынысындағы сұйық немесе газдың сүзу қабылетін (фильтрациясын) бағалап, сүзу процесі (фильтрация) өтіп жатқан кеуектердің көлеміне ($V_{кеу\ фильтр}$) тәуелді болады.

$$m_{эф} = \frac{\sum V_{фильтр.кеу.}}{V_{үлгі}} \times 100\% \qquad (1.3)$$

Цемент материалы аз немес орташа көлемде болатын түйіршікті тау жыныстары үшін, жалпы және эффективті кеуектілік шамамен тең болады. Цемент мөлшері көп тау жыныстары үшін эффективті және жалпы кеуектілік арасында айтарлықтай айырмашылақ болады.

Кеуектілік коэффициенттері үшін ылғи келесідей қатынас орындалады:

$$m_к > m_ж > m_{эф}. \qquad (1.4)$$

Жақсы коллекторлар үшін кеуектілік коэффициенті 15-25% аралығында жатады. Мұнай қабаттарының кеуекті каналдары шартты түрде үш топқа бөлінеді:

- субкапиллярлы – кеуек өлшемдері <0,0002мм, айтарлықтай өткізбейтін. Саздар, сазды сланецтер, эвапориттар (тұз, гипс, ангидрит);
- капиллярлы - кеуек өлшемдері 0,0002-ден 0,5 мм-ге дейін;
- жоғарыкапиллярлы - кеуек өлшемдері > 0,5 мм.

Ірі (жоғарыкапиллярлы) каналдар мен кеуектер арқылы мұнай, газ және судың қозғалуы еркін өтеді, ал капиллярлар арқылы – капиллярлы күштердің кішігірім қатысуымен өтеді.

Субкапиллярлы каналдарда сұйықтық молекула аралық күштермен (какнл қабырғаларының тартылыс күшімен) ұсталып қалады, сондықтан айтарлықтай ешқандай қозғалыс болмайды.

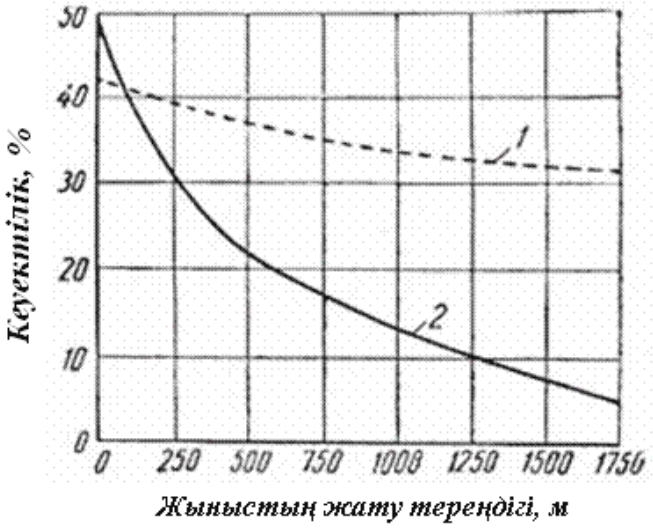
Негізінен субкапиллярлы каналдар түрінде келетін кеуектері бар тау жыныстары, кеуектілігіне тәуелсіз сұйықтар мен газдар үшін өткізбейтін болып келеді (саздар, сазды сланецтер).

Кейбір шөгінді жыныстардың кеуектілік коэффициенттері - 1.1 кесте

Тау жынысы	Кеуектілік, %
Сазды сланецтер	0,54-1,4
Саздар	6,0-50,0
Құмдар	6,0-52
Құмтастар	3,5-29,0
Әктастар	33-ке дейін
Доломиттер	39-ке дейін
Жабын түріндегі, әктастар мен доломиттер	0,65-2,5

Жалпы және ашық кеуектілік келесіге тәуелді болады:

- Жату тереңдігі, және ережедегідей жату тереңдігінің ұлғаюымен төмендейді (1.3 сурет);
- жыныстардың тығыздығынан;
- цемент мөлшері және т.б.



1.3 сурет. Тау жыныстарының табиғи тығыздалуының олардың кеуектілігіне әсері: 1. – құмтастар, 2. – саздар

Өнімді қабат жыныстарының кеуектілігін керн атериалы бойынша лабораториялық жағдайларда анықтайды. Үлкен аймақтардағы қабат кеуектілігі үлкен мөлшерде зерттелген керн үлгілері бойынша статистикалық түрде анықталады.

Бақылау сұрақтары:

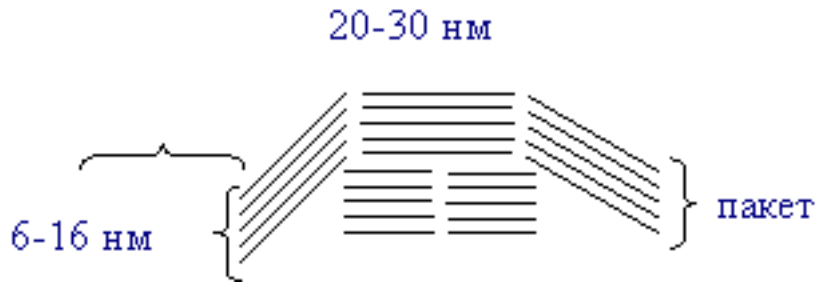
1. Жалпы кеуектілік коэффициентін анқтау.
2. Ашық кеуектік коэффициентін анқтау.
3. Тау жынысы кеуектілігінің түрлері.
4. Жалпы кеуектіліктің анықтамасын беріңіз.
5. Ашық кеуектіліктің анықтамасын айтыңыз.
6. Эффективті кеуектілік коэффициенті туралы айтыңыз.
7. Мұнай қабаттарындағы кеуек каналдар үш топқа бөлінетіндігі белгілі; олардың атаулары қандай?

1.3 Өткізгіштік

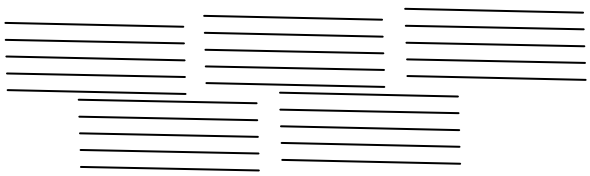
Өткізгіштік – қысым өзгерісі орын алған кезде тау жынысы арқылы сұйық пен газдың өту қабілетін сипаттайтын параметр.

Абсолютті өткізбейтін денелер (тау жыныстары) табиғатта кедеспейді. Жоғары қысым орын алған кезде барлық тау жыныстары өткізгіш болып келеді. Алайда мұнай қабаттарында қысымның шамалы ауытқуы кезінде көптеген тау жыныстары кеуектер өлшемдерінің кішігірім болуы себебінен айтарлықтай сұйықтық пен газдарды мүлдем өткізе алмайтын болып келеді (саздар, сланецтер және т.б.).

Жақсы өткізетін жыныстар: құм, құмтастар, доломиттер, доломиттелген әктастар, алевролиттер, сондай-ақ массалы қатпарлана орналасқан балшықтар (саздар) (1.4 сурет).



1.4 сурет. Саздардың массалы қатпарлана орналасуы, фильтрация пакеттер арасындағы каналдар арқылы өтеді



1.5 сурет. Саздардың қатпарлары реттеліп орналасқан: фильтрация айтарлықтай жүрмейді.

Нашар өткізетіндерге жататындар: қатпарлары реттеліп орналасқан саздар (1.5 сурет), сазды сланецтер, сазбен қатты цементтелген құмтастар. Белгілі каналдар типтері үшін (субкапиллярлы, капиллярлы, жарықшақтар) фильтрация негізінен капиллярлар, каналдар және жарықшақтар арқылы өтеді.

Бақылау сұрақтары:

1. Өткізгіштік туралы түсінік.
2. Салыстырмалы аз қысымдар айырымында қандай тау жыныстарына өткізбейтін қасиет тән?
3. Қандай тау жыныстарына жақсы өткізгіштік қасиет тән?
4. Қандай тау жыныстарына нашар өткізгіштік қасиет тән?

1.3.1 Мұнай және газдың кеуекті ортада сызықты фильтрациясы

Тау жыныстарының өткізгіштігін бағалау үшін әдетте Дарсидің сызықты фильтрация заңын қолданады. Дарси 1856 жылы, құмды фильтр арқылы судың ағысын зерттей келе (1.6 сурет), сұйықтың фильтрациялану жылдамдығының қысым градиентіне тәуелді екендігін орнатты. Дарси теңдігіне сәйкес кеуекті ортадағы судың фильтрация жылдамдығы қысым градиентіне пропорционал болады:

$$v = \frac{Q}{F} = k \cdot \frac{\Delta P}{L}, \qquad (1.5)$$

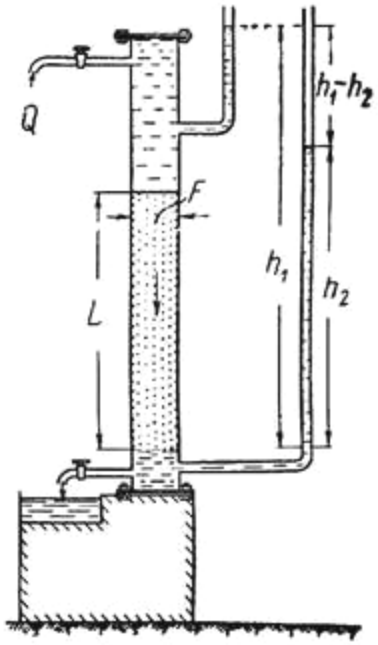
мұндағы Q – судың көлемдік жылдамдығы;

v – судың сызықты жылдамдығы;

F – қима ауданы, $F = \pi d^2/4$;

L – сүзгінің ұзындығы;

k – пропорционалдылық коэффициент.



1.6. Дарсидың құм арқылы су ағысын зерттеуге арналған эксперименталды қондырғысының сұлбасы

Мұнай – **идеал емес жүйе.** Химиялық көзқараспен қарасақ осындай жүйенің компоненттері бір-бірімен әрекеттеседі. Сондықтан мұнай фильтрациясының сызықты заңын сипаттайтын теңдікке мұнай жүйесінің ішіндегі компонеттердің әрекеттесуін есепке алатын тұтқырлық енгізілген:

$$Q = k \cdot F \cdot \frac{\Delta P}{L \cdot \mu}, \qquad (1.6)$$

мұндағы μ – мұнайдың тұтқырлығы.

Бұл теңдіктегі тау жынысының сұйықтық мен газды өткізу қабілеті пропорционалдық коэффициентпен (k)сипатталады (1.6), ол **өткізгіштік коэффициенті ($k_{пр}$)** деп аталады.

Өткізгіштік коэффициентінің өлшем бірлігі (БХЖ жүйесінде) (1.6) теңдіктен шығады:

$$k_{өт} = \frac{Q \cdot м \cdot L}{ДР \cdot F} = \frac{\frac{м^3}{с} \cdot Па \cdot с \cdot м}{Па \cdot м^2} = [м^2], \qquad (1.7)$$

1.2 кесте- Дарси теңдігі параметрлерінің әр түрлі бірлік жүйелердегі өлшемі

Теңдік параметрлері	Өлшемдері		
	БХЖ	СГС	НПГ
Көлемдік дебит, Q	$м^3$ / с	$см^3$ / с	$см^3$ / с
Фильтрдің көлденең қимасының ауданы, F	$м^2$	$см^2$	$см^2$
Фильтр ұзындығы, L	м	см	см
Қысым ауытқуы, ΔP	Па	дн / $см^2$	атм
Сұйықтың тұтқырлығы, μ	мПа · с	дн · с / $см^2$	спз (сантипуаз)

БХЖ жүйесінде өткізгіштік коэффициенті $м^2$ өлшенеді; СГС жүйесінде [$k_{өт}$] $см^2$; НПГ жүйесінде (мұнайкәсіпшілік геологияда) [$k_{өт}$] Д (дарси) өлшенеді.

$$1 \text{ дарси} = 1{,}02 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2 = 1{,}02 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2 = 1{,}02 \text{ мкм}^2 \approx 1 \text{ мкм}^2$$

Өткізгіштік $1м^2$ - кеуекті ортаның өткізгіштігі деп аталады: ауданы $1м^2$ және ұзындығы 1м, қысым айырымы 1Па тең болған кезде тұтқырлығы 1Па·с сұйықтықтың шығыны 1 $м^3$/сек. құрайды.

Кеуекті ортаның өткізгіштігі 1 дарси, егер дене бір фазада болса, ал фильтрация кезінде сұйықтықтың тұтқырлығы 1спз (сантипуаз) болса, ал үлгінің қима ауданы 1 $см^2$ және қысым айырымы 1 атм болғанда фильтрацияның ламинарлы режимі кезінде тау жынысының 1 см ұзындығына сұйықтықтың шығыны 1 $см^3$/сек құрайды.

Өткізгіштіктің өлшемділігінің физикалық мәні- бұл фильтрация өтетін кеуек денелер каналдарының көлденең қимасының шамасы.

Жоғарыда келтірілген теңдеулер (1.5-1.7) сығылмайтын сұйықтықтардың Дарсидің сызықты заңы бойынша қозғалу жағдайында әділетті.

Газдың фильтрациялану жағдайында бұл шарт орындалмайды. Қысым айырымы бар болған кезде газ көлемі өзгереді, және оның көлемі Бойль-Мариот заңы бойынша бағаланады:

$$T = \text{const кезінде} \quad P \cdot V = \text{const} \qquad (1.8)$$

Сызықты фильтрация кезінде газ фильтрациясының орташа жылдамдығы ($V_{ор}$) келесі теңдік бойынша бағаланады:

$$V_{ор} \cdot P_{ор} = V_0 \cdot P_0 = V_1 \cdot P_1 = V_2 \cdot P_2, \quad (1.9)$$

$$P_{ор} = (P_1 + P_2) / 2, \quad (1.10)$$

$$V_{ор} = V_0 \cdot P_0 / P_{ор} = 2 \cdot V_0 \cdot P_0 / (P_1 + P_2). \quad (1.11)$$

Олай болса, газ шығынының орташа көлемі ($V_{ор}$) тең болады газ көлемінің ($V_{ор}$) уақытқа (t) қатынасына тең болады:

$$Q_{ор} = \frac{V_{ор}}{t} = \frac{2 \cdot V_0 \cdot P_0}{P_1 + P_2} \cdot \quad (1.12)$$

Газдың сызықты фильтрациясы кезінде өткізгіштік коэффициентін бағалауға арналған теңдеуді (1.7) және (1.12) шамаларын ескеріп келесі түрде жазамыз:

$$k_{от} = \frac{2 \cdot V_0 \cdot P_0 \cdot \mu \cdot L}{F \cdot (P_1^2 - P_2^2) \cdot t} \quad (1.13)$$

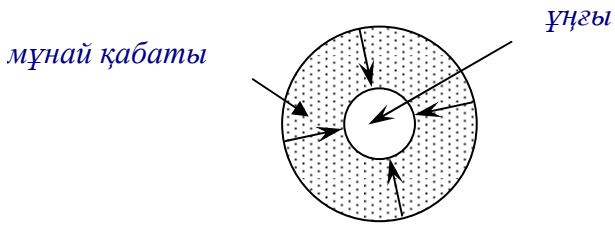
Бақылау сұрақтары:

1. Сызықты сүзу (фильтрация) заңдылығын кім ашты және қашан ашты.
2. Тұтқырлық туралы түсінік.
3. Өткізгіштік коэффициенті туралы ($к_{өт}$) анықтамаға тоқталыңыз.
4. Дарси заңының негізі.
5. Өткізгіштіктің физикалық маңызын және өлшем бірлігін айтыңыз.

1.3.2. Кеуекті ортада мұнай мен газдың радиалды фильтрациясы

Қабаттан ұңғыға қабат флюидтерінің ағу процесі радиалды фильтрация моделімен сипатталады. Осындай жағдайда тау

жынысының үлгісі ось бағытында өткізетін каналдары бар цилиндр сақина түрінде беріледі (1.7 сурет).



1.7 сурет. Ұңғыға сұйықтың радиалды ағып келуінің сұлбасы

Цилиндрдің бүйір бетінің ауданын (F) арқылы белгілейміз және ол F=2πrh деп бағаланады. Осылайша, мұнайдың (қабат суының) радиалды фильтрациясы үшін Дарси теңдігі келесі түрге жазылады:

$$\frac{Q}{F}=\frac{Q}{2\cdot\pi\cdot r\cdot h}=\frac{k_{от}\cdot\Delta P}{\mu\cdot\Delta r}=\frac{Q}{2\cdot\pi\cdot r\cdot h}\cdot\int_{r_B}^{r_н}\frac{dr}{r}=\frac{k_{от}}{\mu}\int_{P_B}^{P_н}dP \qquad (1.14)$$

Осыдан, сұйықтықтың радиалды фильтрациясы кезіндегі дебит:

$$Q=\frac{2\pi\cdot r\cdot h\cdot k_{от}(P_н-P_B)}{\mu\ln\frac{r_н}{r_B}}. \qquad (1.15)$$

Осылайша, сұйықтықтың радиалды фильтрациясы кезіндегі өткізгіштік коэффициентін келесі теңдік бойынша бағалауға болады (1.16):

$$k_{от}=\frac{Q\mu\ln\frac{r_н}{r_B}}{2\pi\cdot r\cdot h\left(P_н-P_B\right)} \qquad (1.16)$$

Ал газдың радиалды фильтрациясы кезіндегі өткізгіштік коэффициентін бағалау үшін теңдік (1.13) және (1.15) ескере отырып жазылады.

Бақылау сұрақтары:

1. Қабаттағы флюидттардың ұңғымаға ағып келуі процесі қалай сипатталады.

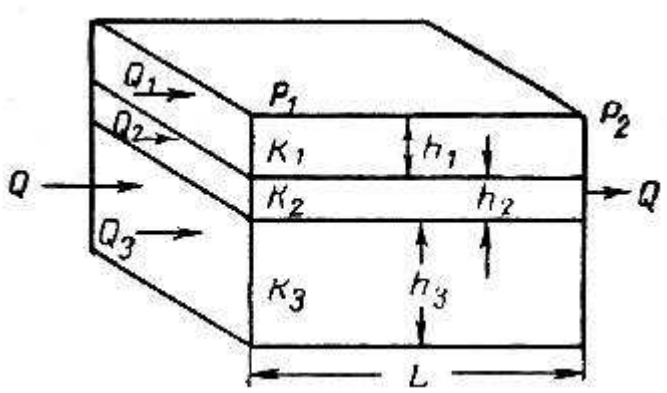
2.Қабаттағы мұнайдың (қабат суының) радиалдық филтрация арқылы сүзілуіне арналған Дарси теңдігі.

3. Сұйықтың радиалдық филтрациясына арналған дебитті анықтау теңдігі.

4. Сұйықтың радиалдық филтрациясы кезінде өткізгіштік коэффициенттін қандай теңдікпен бағалауға болады.

1.3.3. Өткізгіштігі әр түрлі қатпарлардан тұратын қабаттың өткізгіштігін бағалау

Әдеттегідей қабат бөлек қабатшалардан тұрады, сондықтан қабаттың жалпы өткізгіштігі ($k_{өт}$) қатпарлардың өткізгіштігін және фильтрация бағытын есепке ала отырып бағаланады.



1.8. Қуаты мен өткізгіштігі әр түрлі бірнеше изоляцияланған қатпарлардан тұратын қабаттағы сызықты фильтрация.

Қуаты мен өткізгіштігі әр түрлі бірнеше изоляцияланған қатпарлардан тұратын қабаттағы сызықты фильтрациясы кезінде (1.8 сурет), қабаттың орташа өткізгіштігі келесі түрде есептеледі:

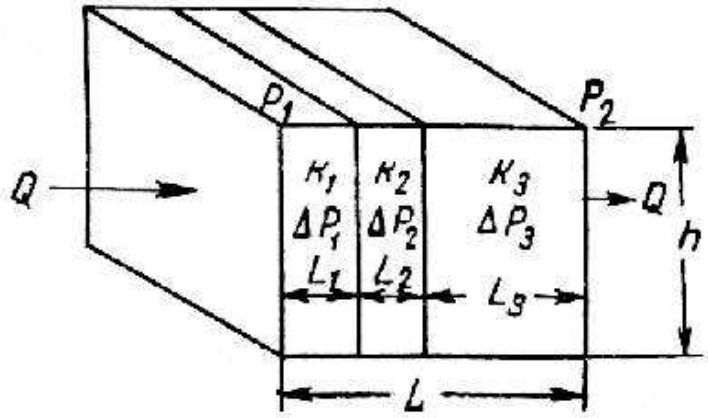
$$k_{от} = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_1 \cdot h_1}{\sum_{i=1}^{n} h_1}, \qquad (1.17)$$

мұндағы, h_i – і-ші қатпардың қуаты; k_i – і-ші қатпардың өткізгіштігі.

Өтізгіштігі әр түрлі қатпар арқылы сұйықтықтың сызықты фильтрациясы кезінде қабаттың өткізгіштігі былай есептелінеді (1.9 сурет):

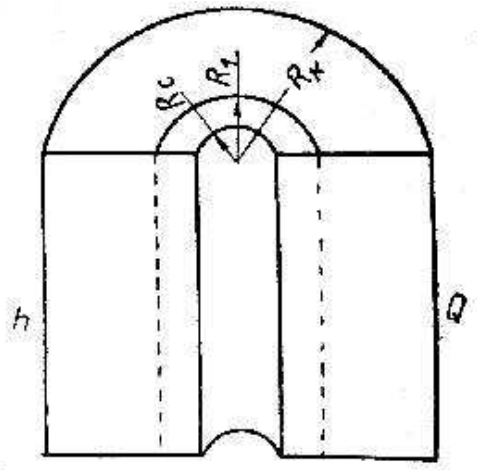
$$k_{op} = \frac{L_{жал}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{k_i}}, \qquad (1.18)$$

мұнд L_i – і-ші қатпардың ұзындығы; k_i – і-ші қатпардың өткізгіштігі.



Сурет 1.9. Өткізгіштігі әр түрлі қабаттардан тұратын қабаттағы сызықты фильтрация

Өткізгіштігі әр түрлі бірнеше концентрлі орналасқан аймақтары бар қабат арқылы радиалды фильтрациясы кезінде (1.10),



1.10 сурет - Өткізгіштігі әр түрлі бірнеше концентрлі орналасқан аймақтары бар сұйықтықтың қабат арқылы радиалды фильтрациясы

қабаттың орташа өткізгіштігі келесі түрде бағаланады:

$$k_{от} = \frac{\lg\left(\frac{r_k}{r_{ck}}\right)}{\sum_{i=1}^{n} \lg\left(\frac{r_i}{r_{i-1}}\right) / ki} \qquad (1.19)$$

мұнда r_k –контур радиусы; r_c – ұңғы радиусы; r_i – і-ші қатпардың радиусы; k_i –і-ші қатпардың өткізгіштігі.

Бақылау сұрақтары:

1. Қабаттың жалпы өткізгіштігінің ($k_{пр}$) анықтамасы.
2. Сұйықтың сызықты фильтрациясы кезінде қабаттың орташа өткізгіштігін есептеу.
3. Өткізгіштігі әр түрлі қабаттардан тұратын қабаттағы сұйықтың сызықты фильтрациясы кезінде қабаттың өткізгіштік коэффициентін есептеу.
4. Қабатта радиалды фильтрация орын алған кезде қабаттың орташа өткізгіштік коэффициенті қалай есептеледі?

1.3.4. Өткізгіштік қасиет тән тау жыныстарының жіктемесі

Өткізгіштік сипаты бойынша (Г.И.Тедорович жіктемесі) коллекторлардың келесідей түрлерін ажыратады:

- біртекті өткізгіш;
- біртекті емес өткізгіш;
- жарықшақты.

Өткізгіштік шамасына байланысты (мкм^2) мұнай коллекторлары 5 түрге бөлінеді:

1. өткізгіштігі өте жақсы (>1);
2. өткізгіштігі жақсы (0,1 – 1);
3. өткізгіштігі орташа (0,01 – 0,1);
4. өткізгіштігі әлсіз (0,001 – 0,01);
5. өткізгіштігі нашар (<0,001).

Газ кен орындары коллекторларының жіктемесі 1–4 түрлерден тұрады.

Бақылау сұрақтары:

1. Өткізгіштікті және Г.И.Тедорович жіктемесін есепке алып қандай коллеторларды ажыратады.

2. Мұнай өткізгіштігін еске алып коллектордың түрлерін қалай ажыратады.

3. Г аз кен орындарын жіктеу.

1.3.5 Өткізгіштік пен кеуектіліктің арасындағы тәуелділік

Теориялық тұрғыдан қарасақ жақсы іріктелген материал (мономикті құм) үшін өткізгіштік кеуектілікке тәуелді емес.

Нақты коллекторлар үшін едәуір кеуекті тау жыныстары едәуір өткізгіш болып келеді.

Өткізгіштік пен кеуектер өлшемі арасындағы байланыс идеал кеуекті ортаның капиллярлы арқылы фильтрация жүрген кезде Пуазейль және Дарси теңдіктерінің қатынасымен бағаланады. Осындай жағдайда кеуекті орта ұзындығы L тең қимасы бірдей түзу каналдар жүйесі деп қарастырылады.

Пуазейль теңдігі сұйықтықтың осындай кеуекті орта арқылы ағуының көлемдік жылдамдығын сипаттайды:

$$Q = \frac{n\pi r^4 F \Delta P}{8 \mu L}, \qquad (1.20)$$

мұндағы: r – кеуекті канал радиусы;

L – кеуекті каналдың ұзындығы;

n – фильтрация ауданының бірлігіне келетін кеуектердің саны;

F – фильтрация ауданы;

μ – сұйықтықтың тұтқырлығы;

ΔP – қысым айырымы.

Фильтрация өтетін кеуекті ортаның коэффициенті:

$$m = \frac{V_{кеу}}{V_{үлгі}} = \frac{n \cdot F \cdot \pi \cdot r^2 L}{FL} = n \cdot \pi \cdot r^2 \qquad (1.21)$$

Осыдан шығатыны, (1.20) теңдікті келесі түрде жазуға болады:

$$Q = F\frac{m r^2 \Delta P}{8\mu L}. \qquad (1.22)$$

және Дарси теңдігімен салыстыру керек:

$$Q = Fk\frac{\Delta P}{L\mu}. \qquad (1.23)$$

(1.22) және (1.23) теңдеулерінің оң жақтарын теңестіріп кеуектілік, өткізгіштік және кеуек каналы радиусы арасындағы өзара байланысты аламыз:

$$k_{от} = \frac{m \cdot r^2}{8} \qquad (1.24)$$

Осыдан кеуекті каналдың өлшемін келесідей бағалауға болады:

$$r = \sqrt{\frac{8k_{от}}{m}} \qquad (1.25)$$

Егер өткізгіштікті мкм^2 есептесек, онда кеуекті каналдардың радиусын (мкм-мен) былай есептеуге болады:

$$r = 2{,}86\sqrt{\frac{k_{от}}{m}} \qquad (1.26)$$

(1.24) – (1.26) теңдеулері кеуекті каналдың кеуектілігі, өткізгіштігі және радиусының арасындағы байланысты сипаттайды. (1.24) - (1.26) қатынастар тек қана идеал кеуек орта үшін әділ, мәселен, кварцты құм үшін.

Нақты коллекторлар үшін кеуек ортаның каналы радиусын бағалау тау жыныстарының құрылымдық ерекшеліктерін ескере отырып жасалады.

Ф.И.Котяковтың эмпирикалық теңдігі осы жағдайды ескереді:

$$r = \frac{2}{7 \cdot 10^5} \sqrt{\frac{k_{от} \varphi}{m}} \qquad (1.27)$$

мұнда r – кеуек радиусы; φ – кеуекті кеңістіктің **бұрмалылығын** ескеретін құрылымдық коэффициент.

φ мәнін тау жыныстарының электрлік кедергісін өлшеу арқылы бағалауға болады. Керамикалық кеуек орталар үшін кеуектіліктің мағынасы 0,39-дан 0,28 аралықта жатқан кезде φ-дің мағынасы мына аралықта жатады: 1,7-2,6. Түйіршікті тау жыныстары үшін құрылымдық коэффициентін шамамен эмпирикалық формуламен анықтауға болады:

$$\varphi = \frac{0{,}5035}{\mathrm{m}^{1{,}1}}. \qquad (1.28)$$

Өткізгіштік коэффициенті мен кеуек дене каналы радиусымен байланысын бағалау үшін (сұйықтықтың тек каналдар мен капиллярлар арқылы фильтрациялануы кезінде) Пуазейль және Дарси теңдеулері қолданылады.

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \mu L} \quad \text{және} \quad \mathrm{Q} = \mathrm{Fk}\frac{\Delta \mathrm{P}}{\mathrm{L}\mu}. \qquad (1.29)$$

Еске сала кетейік, кеуекті ортаны өте ұсақ құбыршалар жүйесі деп қарастыруға болады. Фильтрация процесіне қатысатын кеуектердің жалпы ауданы $\mathrm{F} = \pi \cdot \mathrm{r}^2$ тең, бұдан $\pi = \mathrm{F}/\mathrm{r}^2$.

Бұл шаманы Пуазейль теңдігіне қойып және (1.29) теңдеудегі бірдей параметрлерді қысқарта отырып келесі өрненкті аламыз:

$$k_{от} = \frac{r^2}{8} \qquad (1.30)$$

Егер r-ді см өлшесек, ал өткізгіштік коэффициентін [Д] (1Д = 10^{-8}см) өлшесек, онда қайта есептеу коэффициенті мынаған тең $9{,}869 \cdot 10^{-9}$. Олай болса, сұйықтықтың капилляр арқылы фильтрациясы кезінде өткізгіштік коэффициенті эмпирикалық

теңдікпен бағаланады:

$$К_{от} = r^2 / (8 \cdot 9{,}869 \cdot 10^{-9}) = 12{,}5 \cdot 10^6 r^2. \qquad (1.31)$$

Өткізгіштік коэффициентінің кеуекті жарықшақтармен (сұйықтықтың тек жарықшақты кеуектер арқылы фильтрациясы үшін) байланысының мәні Букингема және Дарси теңдеулерінің қатынасымен бағаланады.

Сұйықтықтың биіктігі өте төмен жарық арқылы ағуы кезінде қысымның жоғалуы Букингем теңдігі арқылы бағаланады:

$$\Delta P = \frac{12 \mu v L}{h^2}, \qquad (1.32)$$

мұнда h – жарышақ биіктігі; v – фильтрацияның сызықты жылдамдығы..

Бұл мәнді (1.23) Дарси теңдігіне қойып және ұқсас мәндерді қысқарта отырып келесі теңдікті аламыз:

$$k_{от} = \frac{h^2}{12} \qquad (1.33)$$

r [см], ал өткізгіштік коэффициенті [Д] өлшенетінін ескере отырып, қайта есептеудің сәйкес коэффициентін енгіземіз $9{,}869 \cdot 10^{-9}$. Олай болса, сұйықтықтың жарықшақ арқылы фильтрациясы кезіндегі өткізгіштік коэффициенті келесі теңдікпен анықталады:

$$К_{от} = h^2 / (12 \cdot 9{,}869 \cdot 10^{-9}) = 84{,}4 \cdot 10^5 h^2. \qquad (1.34)$$

(1.31) және (1.34) теңдеулері нақты бір кеуектердің түрі үшін өткізгіштік коэффициентін теориялық түрде бағалауға қолданылады. Практикада тау жынысының өткізгіштігін зертханалық жағдайларда керндік материалды қолданып анықтайды.

Бақылау сұрақтары:

1. Идеал кеуек орта қарастырылады; өткізгіштіктің кеуек

каналы өлшеміне тәуелділігі.

2. Кеуек орта арқылы көлемдік ағу жылдамдығын қандай теңдікпен сипаттайды.

3. Фильтрация өтіп жатқан ортаның кеуектілік коэффицменті.

4. Ф.И. Котяковтың эмипирикалық теңдеуі.

5. Өкіэгіштік коэффициенті мен кеуек жарықшақтың биіктігі арасындағы байланыс қалай бағаланады.

6. Букингем теңдеуі нені анықтайды.

1.3.6 Өткізгіштіктің түрлері

Абсолютті өткізгіштік (физикалық) – бұл келесі шарттарды орындаған кездегі газ немесе біртекті сұйықтық үшін кеуекті ортаның өткізгіштігі:

1. Кеуекті орта мен қабатағы газ немесе сұйықтық арасындағы физикалық-химиялық байланыстың жоқ болуы.

2. Тау жынысы кеуектерінің газбен немесе сұйықтықпен толық толуы.

Өнімді мұнай қабаттары үшін бұл шарттар орындалмайды.

Фазалық өткізгіштік (эффективті) – бұл берілген газға немесе сұйыққа арналған кеуекті ортаның өткізгіштігі, кеуектің ішінде басқа фаза (сұйық немесе газ) болған кезде немесе мынадай жүйе болған кезде (газ-мұнай, мұнай-су, су-газ, газ-мұнай-су).

Қоспаларды фильтрация жасаған кезде фазалы өткізгіштіктің коэффициенті абсолютті өткізгіштіктен әлде қайда кіші және қабат үшін толығымен бірдей емес.

Салыстырмалы өткізгішті– фазалық өткізгіштіктің абсолюттік өткізгіштікке қатынасы.

Тау жынысының өткізгіштігі тау жынысының флюидтармен қанығу дәрежесіне, фаза қатынастарына, тау жынысының қасиеттеріне тәуелді.

Әр түрлі фазалар үшін фазалық және салыстырмалы өткізгіштіктер тау жынысы кеуектерінің мұнаймен, газбен және сумен қанығуына, қысым градиентіне, сұйықтықтар мен кеуектегі фазалардың физикалық-химиялық қасиеттеріне тәуелді.

Қанығушылық – фазалы өткізгіштікпен тығыз байланысқан өнімді қабаттардың тағы да бір маңызды параметрі: сумен

қанығушылық ($S_с$), газбен қанығушылық ($S_г$), мұнаймен қанығушылық ($S_м$).

Өнімді қабаттар алдымен сумен қанықкан деген болжам бар. Сумен капиллярлар, каналдар және жарықшақтар толтырылған.

Көмірсутегілер жылжыған кезде (аккумуляция кезінде), аз тығыздықтың нәтижесінде (мұнай және газ), суды төмен ығыстырып, қабаттың жоғарғы бөлігіне қарай ұмтылады. Су каналдар мен жарықшақтар арқылы оңай кетеді, ал капиллярлардан су капиллярлы құбылыс күшіне орай нашар кетеді. Сонымен, қабатта байланысқан су қалады.

Өнімді қабаттағы көмірсутегінің мөлшерін анықтау үшін тау жынысының кеуекті кеңістігінің сумен, мұнаймен және газбен қанығуын анықтау керек.

Сумен қанығу $S_с$ – сумен толтырылған ашық кеуектер көлемінің тау жынысы кеуектерінің жалпы көлеміне қатынасы. Мұнаймен және газбен қанығу осыған ұқсас анықтамамен сипатталады:

$$S_с = \frac{V_с}{V_{кеу}} \times 100\%; \qquad S_м = \frac{V_м}{V_{кеу}} \times 100\%; \qquad S_г = \frac{V_г}{V_{кеу}} \times 100\%; \qquad (1.35)$$

Әдетте мұнай кен орындары үшін сумен қанығушылықтың ең төмен мағынасы мына шекте жатады $S_с$ = 6 - 35% (қабат игеруге дайын деп есептеледі егер сумен қанығушылықтың ең төмен мағынасы ($S_с$) < 25%; мұнамен қанығушылық $S_м$ = 65 - 94% болса; бұл қабаттың «пісуіне» байланысты).

Кен орындары үшін қанығу параметрі нормаланған және бірге тең ($S_{қанығ.}$ = 1) немесе 100 %.

Демек, мұнай кен орындары үшін келесі қатынас әділ:

$$S_м + S_с = 1. \qquad (1.36)$$

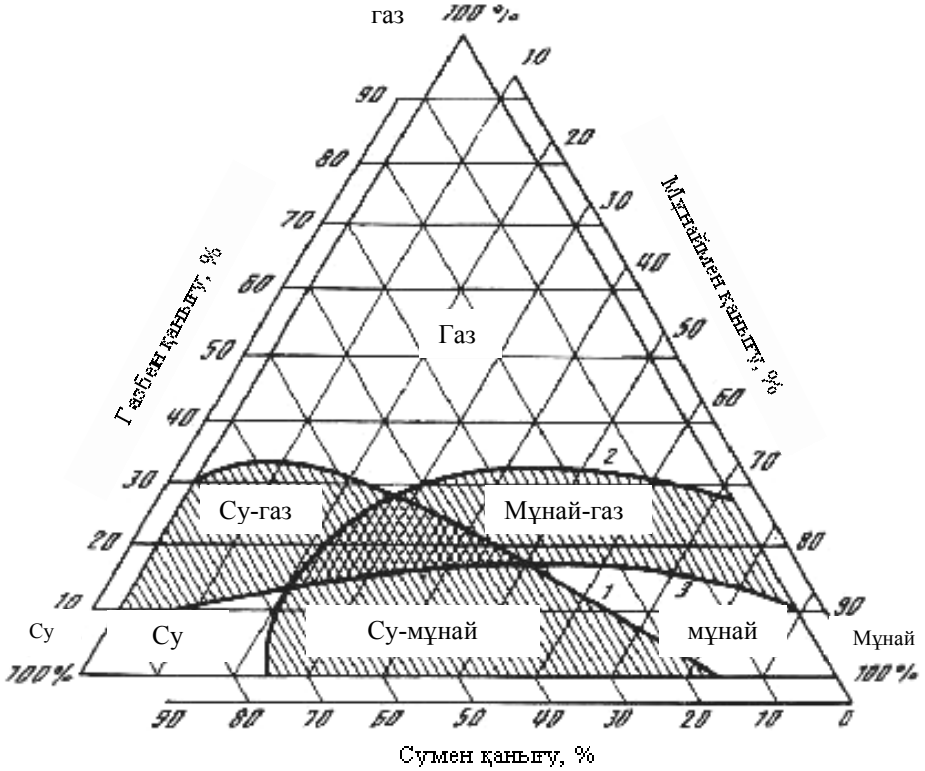
Газ және мұнайлы кен орындары үшін:

$$S_с + S_м + S_г = 1, \quad S_г = 1 – (S_с + S_м). \qquad (1.37)$$

Сумен қанығушылықтың ең төмен мағынасы мұнай мен газдың негізгі фильтрациясына әсер етпейді. Практикада тау жынысының қанығуын зертханалық жағдайларда керн материалы

бойынша анықтайды.

Фазалық (эффективті), салыстырмалы өткізгіштік, тау жыныстардың қанығуы тәжірибе жасау негізінде анықталады. 1.11 суретте бір мезгілде кеуекті ортада мұнай, су және газ орналасқан кезде газ-су-мұнай ағынын зерттеу нәтижелері көрсетілген.



1.11 сурет. Бір, екі және үш фазалы ағындардың таралу ауданы:
1 – 5% су; 2– 5% мұнай; 3 – 5% газ.

Зерттеулер мынаны көрсетті: кеуек кеңістіктің әр түрлі компоненттермен көлемдік қанығуына байланысты бір, екі және үш фазалы ағынның орын алуы мүмкін (1.11 сурет).

Үшбұрыштың төбелері тау жынысының белгілі бір фазамен жүз пайызды қанығуына, төбелерге қарама-қарсы жатқан қабырғалар тау жынысының осы фазамен нөлдік қанығуына сәйкес келеді. Диаграммада көрсетілген қисық сызықтар бір, екі және үшфазалы ағынның мүмкін аудандарын шектейді.

Сумен қанығушылық 25% дейін болғанда, тау жынысының мұнай және газбен қанығуы ең жоғары болады: 45-75%, ал су үшін салыстырмалы фазалық өткізгіштік нөлге тең. Сумен қанығушылық 40 % жоғарылаған кезде, мұнай мен газ үшін фазалық өткізгіштік 2-2,5 рет төмендейді. Сумен қанығушылықты 80% жоғарылаған кезде қабаттағы мұнай мен

газдың фильтрациясы нөлге ұмтылады.

Газға қанығу 10% және мұнайға қанығу 23% кем кем болған кезде ағында тек қана су қалады. Газға қанығу 10% төмен болған кезде газдың қозғалуы орын алмайды. Тау жынысындағы газ мөлшері 33 –35% жоғары болған жағдайда тек қана газ фильтрацияланады.

Мұнайға қанығу 23% кем болғанда мұнайдың қозғалуы орын алмайды. Судың мөлшері 20-дан 30% дейін болғанда және газ 10-нан 18% аралығында болса, тек қана мұнай фильтрацияланады.

Үшбұрыш қабырғаларына жалғасқан штрихталған аралық облыстар екі фазалы ағындарға сәйкес келеді: газ-су, газ-мұнай, су-мұнай.

Ағында үш фазаның бірігіп қозғалуы облысы екі реттік штрихпен сызылып көрсетілген. Цементтелмеген құмдар үшін ол келесідей қанығу аралықтарында жатыр: мұнаймен 23-тен 50% дейін, сумен 33-дан 64%, газбен 14-тен 30% дейін.

Бақылау сұрақтары:

1. Абсолюттік өткізгіштік дегеніміз не.
2. Фазалық өткізгіштік дегеніміз не.
3. Салыстырмалы өткізгіштік дегеніміз не.
4. Тау жынысының өткізгіштігі дегеніміз не.
5. Газбен қанығуды қалай анықтауға болады.
6. Мұнаймен қанығуды қалай анықтауға болады.
7. Сумен қанығуды қалай анықтауға болады.

1.4. Меншікті бет

Тау жыныстарының меншікті беті ($S_{менш.}$) дегеніміз жыныс көлемінің бірлігіндегі оның барлық түйіршіктерінің беттік ауданының жиынтығы. Меншікті бет тау жынысының дисперстілік дәрежесін сипаттайды. Дисперстілік артқан сайын тау жынысының беті ұлғаяды. Түйіршік диаметрлерінің кішірейуі және кеуектілік коэффициентінің төмендеуі меншікті беттің ұлғаюына алып келеді. Нақты коллекторлардың меншікті бетін тәжірибе жасау арқылы анықтау өте күрделі. Коллекторларда әрқашан диаметрлері әр түрлі кеуектер болады. Меншікті бет фазалық өткізгіштікке, тау жынысының адсорбциялық қабілетіне тәуелді. Меншікті бетті эмпирикалық қатынастарды қолдану

арқылы бағалайды, кеуектілік шамасын (m) және өткізгіштік шамасын ($k_{өт}$) қолданып, бағалайды, мәселен, Козени формуласын қолданады:

$$S_{менш.} = 7 \cdot 10^5 \, (m \cdot \sqrt{m}) \, / \, (\sqrt{k_{от}} \, .). \qquad (1.38)$$

Егер өткізгіштікті мкм^2 белгілесек, онда меншікті беттің өлшем бірлігі м^2/м^3 .

Бақылау сұрақтары:

1. Тау жынысының меншікті беті туралы анықтама.
2. Тау жынысының меншікті беті қандай параметрге тәуелді.
3. Козени формуласы.

1.5. Тау жынысының карбонаттылығы

Тау жынысының карбонаттылығы деп тау жынысындағы көмір қышқылы тұздарының ($CaCO_3$, доломит – $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, **сода** – Na_2CO_3, поташ – K_2CO_3, сидерит – $FeCO_3$ және с.с. мөлшерін айтады. Карбонаттардың жалпы мөлшерін $CaCO_3$ жатқызады. Оның себебі мынада: көмірқышқылды кальций тау жыныстарында кең таралған және жоғарыда аталған карбонаттардың негізін құрайды. Өнімді қабат тау жынысының карбонаттылығын лабораторияда, керн материалын қолданып, газометр тәсілімен анықтайды. Тәсіл көмір қышқылы тұздарын химиялық тәсілмен тұз қышқылымен ыдыратуға және реакция нәтижесінде пайда болған көмір қышқылы газы көлемін өлшеуге негізделген:

$$CaCO_3 + 2HCl = CO_2 + CaCO_3 + H_2O \qquad (1.39)$$

Бөлініп шыққан CO_2 көлеміне байланысты тау жынысындағы карбонаттардың салмақтық пайыздық $CaCO_3$ жатқызғандағы мөлшерін есептеп шығарады.

Бақылау сұрақтары:

1. Тау жынысының карбонаттылығы дегеніміз не.
2. Өнімді тау жынысы карбонаттылығын қалай анықтайды.

3. Тау жынысындпғы карбонаттылықтың салмақтық пайыздық мөлшерін қалай анықтайды.

4. Тау жынысының ашық кеуектілігі мен карбонаттылығының арасында өзара байланыс бар ма.

1.6. Тау жыныстарының механикалық қасиеттері

Серпімділік, сығымдылыққа және үзілуге беріктік, майысқақтық – тау жыныстарының маңызды механикалық қаитеттері болып табылады, олар кен орнын игеру мен пайдалану кезеңінде қабатта өтетін процестерге әсер ететіндердің қатарына жатады.

Серпімділік – тау жыныстарына күш түскен кезде олардың көлемі мен пішінін өзгертуге кедергі көрсету қасиеті. Абсолютті серпімді дене күш әсері тоқтағаннан кейін бір сәтте өз пішініне қайта орала алады. Егер дене бастапқы қалпына келе алмаса немесе ұзақ уақыттан кейін бастапқы қалпына келсе, онда ол майысқақ дене деп аталады.

Тау жыныстарының серпімді қасиеттері мен қабаттағы қабат сұйықтықтарының серпімділігі қабаттағы қысымның таралу режиміне әсер етеді. Тау жынысы мен сұйықтықтардың серпімді қасиеттерінің нәтижесінде қабаттағы қысым бірден таралмайды, ұңғы жұмысының режимі өзгергеннен кейін ақырындап таралады. Тау жынысы мен сұйықтықтың серпімді қасиеттері қабаттағы энергияның қорын құрайды. Ол қысым төмендегенде босатылып, мұнай қабатын ұңғы түбіне жылжытудың қайнар көзі болып табылады.

Қабат қысымын төмендеткен кезде сұйықтың көлемі ұлғая береді, ал кеуекті кеңістіктің көлемі азаяды. Қабат қысымын төмендеткен кезде і кеуектер көлемінің негізгі өзгерулері жоғарыда орналасқан жыныстар салмағынан қабатқа түсетін сығымдылықтың ұлғаю нәтижесінде пайда болады. Жыныстардың беріктігі бірдей болғанда және қабаттың қуаттылығын төмендеткен кезде жарықшақтықтың интенсивтілігі ұлғаяды.

Тау жыныстарының серпімді қасиеттері Гук заңымен сипатталады:

$$\beta c = \frac{1}{V} \cdot \frac{\boldsymbol{d}Vn}{dP}, = \mathrm{m} \cdot \beta_{\text{кеу}} \qquad (1.40)$$

мұндағы β_o – кеуекті ортаның көлемдік серпімділік коэффициенті;

$\beta_{кеу}$ - кеуектердің сығылу коэффициенті;

$V_{үлг.}$ – үлгі көлемі;

$\Delta V_{кеу}$ - кеуектердің көлемі;

P – қысым;

m – кеуектілік коэффициенті.

Тау жыныстарының кеуектілігінің (m) өзгеруі ең кіші кернеудің (σ_o) және кеуекті ортаның көлемдік серпімділігіне (β_o) функционалды түрде тәуелді болады.

$$m = m_ж \cdot [1 - \beta_n \cdot (\sigma - \sigma_o)], \qquad (1.41)$$

мұнда m_o – бастапқы эффективті кернеу кезіндегі кеуектілік.

Кеуекті ортаның көлемдік серпімділігінің коэффициенті (β_o) кеуектердің сығылу коэффициентіне ($\beta_{кеу}$) және жыныстардың кеуектілігіне әсер етеді:

$$B_{кеу} = \beta_o / m_ж. \qquad (1.42)$$

Кеуекті ортаның көлемдік серпімділік коэффициентінің (β_o) өлшемі өте кіші. Мұнайлы тау жыныстары үшін ол $0.3 – 2 \cdot 10^{-10}$ [$м^2$/Н] диапазонда өзгереді.

Тау жынысының сығымдылыққа және үзілуге беріктігі көлемдік сығу модулі арқылы бағаланады, олар кедергі түрінде болып, берілген денені жан жақты сығуға ұшыратады. Тау жыныстарының сығымдылыққа және үзілуге беріктігінің нәтижелері қабаттардың үзілуі процесін зерттеуге қажет.

Бақылау сұрақтары:

1.Тау жыныстарына қандай механикалық қасиеттер тән.

2. Тау жыныстарының серпімділік қасиеттері қандай құбылысқа әсер етеді.

3. Гук заңы.

4. Тау жыныстарының көлемдік серпімділік коэффициенті қандай параметрге әсер етеді.

1.7. Тау жыныстарының жылулық қасиеттері

Тау жыныстарының жылулық қасиеттері негізінен меншікті жылу сыйымдылықпен, температура өткізгіштік коэффициенті және жылу өткізгіштік коэффициенттерімен сипатталады.

Меншікті (массалық) жылу сыйымдылық жыныс массасының бірлігін 1°С арттыруға қажет жылудың мөлшерімен сипатталады:

$$c = \frac{dQ}{M\,dT}. \qquad (1.43)$$

Бұл параметрді қабатқа жылумен әсер еткенде есепке алу керек. Жыныстың тығыздығы төмен болған сайын, соғұрлым меншікті жылу сыйымдылықтың шамасы жоғары болады. Меншікті жылу сыйымдылық тау жыныстарының минералдық құрамына, дисперстілігіне, қысымы мен ылғалдылығына тәуелді болады. Жыныстардың жылу сыйымдылығы жыныстың минералдық құрамына тәуелді болады және минералдардың құрылымы мен құрылысына тәуелсіз болады. Жыныс тығыздығы төмендегенде меншікті жылусыйымдылық ұлғайып, аралықта температура мен ылғалдылықтың ұлғаюы кезінде мына шекте 0,4 - 2 кДж/(кг·К) өседі.

Жылуөткізгіштік коэффициенті λ **(**меншікті жылу кедергісі) жыныста S аудан бірлігінде t уақыт бірлігінде температура градиенті dT/dx кезінде өтетін, жылу мөлшерін dQ сипаттайды:

$$dQ = -\lambda \frac{dT}{dx} S dt \,. \qquad (1.44)$$

Температураөткізгіштік коэффициенті (α) жыныстың қызу жылдамдығын немесе изотермиялық шектердің таралу жылдамдығын сипаттайды.

Сызықты (α_L) және көлемдік (α_V) кеңею коэффициенттері қыздыру кезінде жыныс өлшемдерінің өзгеруін сипаттайды:

$$\alpha_L = \frac{dL}{dT \cdot L}; \quad \alpha_V = \frac{dV}{dT \cdot V}, \qquad (1.45)$$

мұндағы L және V – бастапқы үлгінің ұзындығы мен көлемі.

Тау жыныстарының жылулық қасиеттерінің байланысы келесі қатынаспен беріледі:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \qquad (1.46)$$

$$c = \frac{\lambda}{\alpha \cdot \rho} \cdot \qquad (1.47)$$

Жыныстың жылуөткізгіштігі мен температураөткізгіштігі металдармен салыстырғанда өте төмен. Сондықтан түп маңы аймағын қыздыру үшін жылытқыштардың өте үлкен қуаттылығы қажет болады. Қабатқа жағалай жылуөткізгіштік қабатқа көлденең жылуөткізгіштікке қарағанда 10-50% жоғары болады. .

Сызықты және көлемдік кеңеюдің коэффициенттері жылуөткізгіштікке ұқсас жыныс тығыздығына тәуелді өзгереді. Кеңею коэффициенті ең жоғары мәнге кварцты құм және басқа да ірі түйіршікті жыныстар ие.

Сызықты кеңеюдің коэффициенті минералдар тығыздығының ұлғаюымен төмендейді.

2.1. кесте- Кейбір тау жыныстары мен қабат флюидтарының жылулық қасиеттері

Тау жынысы	с, кДж/(кг·К)	λ, Вт/(м·К)	$a \cdot 10^3$, $м^2/с$	$a_L \cdot 10^5$, 1/К
саз	0,755	0,99	0,97	–
сазды сланцтер	0,772	154-218	0,97	0,9
доломит	0,93	1,1-4,98	0,86	–
әктас	1,1	2,18	0,91	0,5-0,89
кварц	0,692	2,49	1,36	1,36
құм	0,8	0,347	0,2	0,5
Қабат флюидтері	с, кДж/(кг·К)	λ, Вт/(м·К)	$a \cdot 10^3$, $м^2/с$	$a_L \cdot 10^5$, 1/К
мұнай	2,1	0,139	0,069-0,086	–
су	4,15	0,582	0,14	–
Газ метан				
Газ аргон				

Бақылау сұрақтары:

1.Тау жыныстарының жылулық қаситеттері немен

сипатталады.

2. Тау жыныстарның меншікті жылу сыйымдылығы нені сипаттайды.

3. Жылу өткізгіштік коэффицменті нені сипаттайды.

4. Температура өткізгіштік коэффициенті нені сипаттайды.

5. Сызықты және көлемдік ұлғаю коэффицинттері нені сипаттайды.

6. Тау жыныстарының жылулық қасиеттерінің арасындағы байланыс қалай өрнектеледі.

2 Газдың, мұнайдың және қабат суларының құрамы және физикалық қасиеттері.

2.1 Табиғи газдардың құрамы мен физикалық-химиялық қасиеттері.

Табиғи газдар – қалыпты жағдайларда газ түрінде болатын заттар және шарттарға байланысты үш күйде болуы мүмкін: еркін, сорбцияланған және еріген.

Көмірсутекті газдар қабат жағдайында олардың құрамына, температурасы мен қысымына байланысты кеніште әртүрлі күйде болуы мүмкін: газ, сұйық немесе газсұйық қоспасы. Еркін газ әдетте қабаттың жоғарылатылған бөлігінде-газ бүркемесінде орналасады.

Егер мұнай кенішінде газ бүркемесі жоқ болсын делік (бұл қабат қысымы жоғарғы болған жағдайда немесе кеніштің ерекше құрылымында болуы мүмкін), демек, кеніштегі газдың бәрі мұнайда еріген болады. Бұл газ қысым төмендеген кезде мұнайдан бөлініп шығады; оны ілеспе газ деп атайды.

Қабат жағдайларында мұнайлардың құрамының бәрінде еріген газ болады. Қабаттағы қысым жоғары болған сайын, мұнайдағы еріген газдың құрамы соғұрлым көп болады.

Кеніштегі газдың бәрі мұнайда еріген кездегі қысымды қанығу қысымы деп атайды. Ол мұнай мен газ құрамымен және қабаттағы температурамен анықталады.

Газ факторы-1 тонна мұнайдағы газдың мөлшері ($м^3$) қанығу қысымына тәуелді болады.

Бақылау сұрақтары:

1. Табиғи газды сипаттаңыз.
2. Қандай жағдайда мұнай кен орнында газ бүркемесі болмайды.
3. Шлеспе газды сипаттаңыз.
4. Қанығу қысымы дегеніміз не.
5. Мұнай кенішіндегі газ факторы қандай параметрге тәуелді.

2.1.1. Табиғи газдың құрамы

Газ, газконденсаты және мұнай кеніштерінен алынатын

табиғи газдар көмітсутектерден көмірсутегілерден (CH_4 – $C_4H_{10,}$ және жоғары), және көмірсутексіз компоненттерден (H_2S, N_2, CO, CO_2, Ar, H_2, He және т.б.) тұрады. Мұнайдан пайда болған газдардың сапалық құрамы ылғи бірдей болады, ал жанартаудың атқылауынан бөлінген газдар туралы бұлай айтуға болмайды.

Қалыпты және стнадартты жағдайларда газ күінде тек көмірсутегілер C_1–C_4 болады. Көмірсутегілер C_5 және одан жоғарғы көмірсутегілер сұйық күйінде кездеседі.

Газ кен орындарынан өндірілетін таза газдардың құрамының 95% метаннан тұрады (2.1 кесте).

2.1 кесте- Газ кен орындары газдарының химиялық құрамы, %

Кен орын	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	N_2	CO_2	Салыстыр тығыздық
Солтүстік-Ставрополь	98,9	0,29	0,16	0,05	–	0,4	0,2	0,56
Уренгой	98,84	0,1	0,03	0,02	0,01	1,7	0,3	0,56
Шатлык	95,58	1,99	0,35	0,1	0,05	0,78	1,15	0,58
Медвежье	98,78	0,1	0,02	–	–	1,0	0,1	0,56

Газ конденсатты кен орындарынан шығатын газдағы метанның мөлшері 75 - 95% аралығында жатады (2.2 кесте).

2.2 кесте- Газ конденсатты кен орындары газдарының химиялық құрамы, %

Кен орын	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	N_2	CO_2	Салыстыр тығыздық
Вуктыльск	74,80	7,70	3,90	1,80	6,40	4,30	0,10	0,882
Оренбург	84,00	5,00	1,60	0,70	1,80	3,5	0,5	0,680
Ямбургск	89,67	4,39	1,64	0,74	2,36	0,26	0,94	0,713
Уренгойск	88,28	5,29	2,42	1,00	2,52	0,48	0,01	0,707

Мұнаймен бірге өндірілетін газдар (ілеспе газдар) метан, этан, пропан-бутан фракциясы (сұйықтатылған газ) және газды бензин қоспасы түрінде болады. Метанның мөлшері 35 - 85% аралығында өзгереді. Ілеспе газдағы ауыр көмірсутегілердің мөлшері 20-40% аралығында болады, сирек жағдайларда оның мөлшері 60% дейін жетеді (2.3 кесте).

2.3 кесте- Мұнай кен орындары газдарының химиялық құрамы (ілеспе газдың), %

Кен орын	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	N_2	CO_2	Салыстыр. тығыздық
Бавлинск	35,0	20,7	19,9	9,8	5,8	8,4	0,4	1,181
Ромашкинск	3838	19,1	17,8	8,0	6,8	8,0	1,5	1,125
Самотлорск	53,4	7,2	15,1	8,3	6,3	9,6	0,1	1,010
Өзен	50,2	20,2	16,8	7,7	3,0	2,3	–	1,010

Ауыр мұнайларға метан мөлшері көп құрғақ ілеспе газдар сипатты болады. Құрғақтық коэффициенті ($k_{құр.}$) метан мөлшеріне пропорционал болады:

$$k_{кур.} = \frac{CH_4}{\sum АуырКС} \times 100\% \qquad (2.1)$$

Ауыр көмітсутектер (КС) ретінде этаннан (C_2H_6) бастап жоғары көмірсутектердің жиынтық мөлшерін атаймыз.

Жеңіл мұнайларға майлы ілеспе газдар қаситеттері тән. Майлылық коэффициенті ($k_{майл.}$) ауыр көмірсутегілердің мөлшеріне пропорционал болады:

$$k_{майл.} = \frac{АуырКС}{CH_4} \times 100\% \qquad (2.2)$$

Бақылау сұрақтары:

1. Табиғи газдар қандай көмірсутектерден және көмірсутекеместерден тұрады.
2. Шлеспе газ дегеніміз не.
3. Өұрғақтық коэффициентін анықтаңыз, ол қандай парамтерге тәуелді.
4. Майлылық коэффициенті және ол қандай парамтерге тәуелді.
5. Ауыр және жеңіл мұнайларға қандай қасиеттер тән.

2.1.2 Көмірсутекті газдардың физикалық-химиялық қасиеттері

Мұнай газы қалыпты жағдайларда полярсыз

көмірсутегілерінен тұрады – көмірсутегілердің C_1-ден C_4 дейінгі қоспасы: метан, этан, пропан, изобутан және н-бутан. Физика тұрғысынан оларға идеал жүйелер үшін қолданылатын заңдарды пайдалануға болады. Математика тұрғысынан қарағанда – бұл аддитивті жүйе. Демек, мұнай газы қасиеттерін бағалау үшін (қалыпты немесе стандартты жағдайларда) қолданылатын физикалық-химиялық және технологиялық параметрлерді есептеудің аддитивті әдістерін қолдануға болады ($П_{қоспа}$):

.

$$П_{коспа} = \sum_{i=1}^{n} П_1 \cdot g_1(N_1, V_1), \qquad (2.3)$$

мұндағы g_i – салмақтық үлес мөлшері;

N_i – мольдік үлес мөлшері;

V_i – көлемдік үлес мөлшері;

$П_i$ – і-ші көмірсутектің немесе көмірсутек емес компоненттің параметрі.

Мәселен, газ қоспасының тығыздығы былай есептеледі:

$$c_{кос} = \sum c_i \cdot N_i \qquad (2.4)$$

Газ тығыздығын газдың молекулярлы массасының (M_i) мольдік көлемге ($V_м$) қатынасы арқылы есептеуге болады. Мысалы, қалыпты жағдайлар үшін (қ.ж.)

$$\rho_г = M_i / 22{,}414. \qquad (2.5)$$

Мұнай газы көмірсутектердің қоспасы түрінде берілген, сондықтан (2.3) формула арқылы оның физика-химиялық қасиеттерін анықтау үшін қоспа құрамы қалай берілетінін білу керек.

Массалық мөлшер (g_i) – жалпы жүйедегі і-ші компонент массасының (m_i) жүйенің жалпы массасына қатынасы:

$$g_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}; \quad \sum g_i = 1. \qquad (2.6)$$

Молярлы (мольдік) мөлшер (N_i) – отношение числа молей і-ші компонент молдер санының($т_ш$) жүйедегі молдердің жалпы санына қатынасы:

$$N_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^{n} n_i}; \quad \sum N_i = 1, \qquad n_i = \frac{m_i}{M_i}, \qquad (2.7)$$

мұндағы m_i – і-ші компоненттің массасы;

M_i – і-ші компоненттің молекулярлы салмағы.

(2.6 – 2.7) қатынасынан массалық және мольдік құрамды есептеу үшін қажетті мәндерді оңай табуға болады:

$$g_i = \frac{N_i \cdot M_i}{\sum N_i \cdot M_i}, \qquad N_i = \frac{g_i}{M_i} \times \frac{1}{\sum g_i / M_i} \qquad (2.8)$$

Көлемдік мөлшер – бұл жүйе көлеміндегі компонент алатын мөлшер (V_i) және (2.5 – 2.8) теңдіктерін ескере отырып оның массалық және мольдік құраммен байланысын табуға болады:

$$V_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^{n} V_i} = \frac{g_i}{\rho_i} \times \frac{1}{\sum g_i / \rho_i} = \frac{N_i \cdot M_i}{\rho_i} \times \frac{1}{\sum \frac{N_i \cdot M_i}{\rho_i}} \qquad (2.9)$$

Идеал газ үшін келесі қатынас сақталады: компоненттік көлемдік мөлшері (V_i) компоненттің мольдік мөлшеріне (N_i) тең. $V_i = N_i$, Авогадро заңының нәтижесі секілді. Мұнай газы сияқты идеал жүйе үшін оның құрамын кез келген мәліметтер негізінде есептеуге болады: компонент массасы, көлемі, тығыздығы, парциалды қысы және т.б. "Өзіндік жұмысқа арналған практикум" бөлім.қара.

Қоспаның **молекулярлық мөлшері** қоспаға арналған аддитивті принцип негізінде есептеледі, олардың құрамы мольдік немесе көлемдік мөлшерде берілген (2.10, сол жақ мәні). Құрамы массалық пайызда берілетін қоспалар үшін, 2.10 формуласы

бойынша, оң жақ мәні:

$$M_{см} = \sum_{i=1}^{n} M_i \cdot N_i, \qquad M_{см} = \frac{100}{\sum g_i / M_i} \tag{2.10}$$

Газдың **салыстырмалы тығыздығы** ауа тығыздығына болатын қатынас ббойынша есептеледі:

$$\rho_{кос}^{o} = \frac{\rho_{кос}}{\rho_{ауа}} \tag{2.11}$$

Қалыпты жағдайлар үшін (қ.ж.) $\rho_{ауа} \approx 1{,}293$; стандартты жағдайлар үшін (с.у.) $\rho_{ауа} \approx 1{,}205$.

Егер газ тығыздығы (ρ_o) атмосфера қысымы= 0,1013 МПа кезінде берілсе, онда сондай температурада оны басқа қысымға (Р) қайта есептеу идеал газ үшін төмендегі формула бойынша жүргізіледі:

$$\rho = \frac{\rho_0 P}{P_{атм}} \tag{2.12}$$

Идел газ қоспалары парциалды қысым мен парциалды көлемдердің аддитивтілігімен сипатталады.

Идел газдар үшін қоспа қысымы компоненттердің парциалды қысымдарының суммасына тең болады (Дальтон заңы):

$$\mathrm{P} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{p_i}\ , \tag{2.13}$$

мұндағы Р – газ қоспасының қысымы;

p_i – қоспадағы і-ші компоненттің парциалды қысымы, немесе

$$p_i = N_i \cdot P \tag{2.14}$$

$\sum p_1 = P \cdot \sum N_1$, мұндағы $\sum N_i = 1$, . (2.15)

Яғни қоспадағы газдың парциалды қысымы оның қоспадағы молярлы мөлшерінің газ қоспасының жалпы қысымының қатынасына тең болады (2.14).

Газ қоспасының парциалды көлемінің аддитивтілігі Амага заңымен анықталады:

$$V = \sum_{i=1}^{n} V_i \ , \qquad (2.16)$$

мұндағы V – газ қоспасының көлемі;

V_i – қоспадағы і-ші компоненттің көлемі.

немесе (2.14 – 2.15) ұқсас 2.17 теңдігімен анықталады:

$$V_i = N_i \cdot V \ . \qquad (2.17)$$

Табиғи газдардың көптеген физикалық қасиеттерін анықтау үшін **күй теңдеуі** қолданылады.

Күй теңдеуі деп заттардың қасиеттерінің өзгерісін сипаттайтын параметрлер арасындағы аналитикалық тәуелділікті атаймыз. Мұндай параметрлер ретінде қысым, температура, көлем қолданылады.

Газдың қалыпты және стандартты жағдайлардағы күйі **Менделеев-Клайперонның күй теңдіеуімен сипатталады:**

$$PV = QRT \ , \qquad (2.18)$$

мұндағы P – абсолютті қысым, Па;

V – көлем, $м^3$;

Q – заттың мөлшері, кмоль;

T – абсолютті температура, К;

R – универсалды газ тұрақтысы, $Па·м^3/(кмоль·град)$.

Газ күй теңдеуінің негізінде мұнай газы жүйесі үшін көптеген параметрлерді есептеуге болады: тығыздық, мольдік көлем, молекулалардың мөлшері, молекулалардың саны, парциалды қысым және т.б., егер 1 моль үшін газ күйі теңдеуін қарастыратын болсақ, яғни, $Q = \sum N_i$ және $PV = \sum N_i RT$, "Өзіндік жұмысқа арналған практикум" бөлім.қара.

Бұл теңдеудің өзіндік шектік шарттары бар. Ол қалыпты,

атмосфералық (1 атм) және қалыпты қысымға (10-12 атм) жақын қысымдарға әділетті.

Жоғары қысым кезінде газ сығылады. Байланыстың бағыты есебінен С-Н электронды тығыздықтың таралуы жүреді, және газ молекулалары бір-біріне тартыла бастайды (физикалық әрекеттесу).

Бұл әрекеттесуді ескеру үшін (2.18) теңдігіне голландтық физик Ван-дер-Ваальс ұсынған нақты газдың идеал газдан ауытқуын ескеретін **жоғары сығымдылық коэффициенті z** енгізіледі:

$$PV = zQRT\,, \qquad (2.19)$$

мұндағы Q – зат мөлешрі, моль;

z – жоғары сығымдылық коэффициенті.

Жоғары сығымдылық коэффициентінің физикалық мәні жоғары қысымдарға арналған Менделеев-Клайперон теңдеуінің шектік шарттарының кеңеюінде

z коэффициенті қысым, температура (келтірілген, критикалық қысым мен температура) және газ табиғатына тәуелді.

Критикалық қысым – бұл газ күйіндегі көмірсутек сұйық жағдайға ауысуы кезіндегі қысым.

Критикалық температура – бұл сұйық көмірсутегінің газ күіне өтуі кезіндегі температура.

Жеке компоненттердің келтірілген параметрлері деп газ күйінің нақты параметрлерінің критикалық күйден қаншалықты ауытқитынын көрсететін өлшемсіз көлемдер:

$$T_{келт.} = \frac{T}{T_{орт.келт.}}, \quad \text{мұндағы} \quad T_{орт.келт.} = \sum_{i=1}^{n} N_i \cdot T_{i\,крит} \qquad (2.20)$$

$$P_{келт.} = \frac{P}{P_{орт.келт.}}, \quad \text{мұндағы} \quad P_{орт.келт.} = \sum_{i=1}^{n} N_i \cdot P_{i\,крит} \qquad (2.21)$$

$$z = f\,(\,T_{келт}, P_{келт}) \qquad (2.22)$$

Келтірілген қысым мен келтірілген температурадан жоғары сығымдылық коэффициентін бағалауға арналған графиктер, эмпириялық формулалар бар, "Өзіндік жұмысқа арналған практикум" бөлім.қара.

Жоғары сығымдылық коэффициентін біле отырып, Бойль-Мариот заңы бойынша қабат жағдайларындағы газ көлемін анықтауға болады:

$$V_{каб} = z \cdot \frac{V_{ж} \cdot T_{каб} \cdot P_{ж}}{T_{ж} \cdot P_{каб}} \qquad (2.23)$$

Қабат жағдайларынидағы газ көлемінің ($V_{қаб.}$) қалыпты жағдайлардағы газ көлеміне ($V_{ж}$) қатынасы газдың көлемдік коэффициенті (b) деп аталады. Газдың көлемдік коэффициенті қабат немесе керісінше шарттарға қалыпты жағдайлардағы газ көлемін есептеу кезінде қолданылады.

Газдың көлемдік коэффицинті газ көлемін қалыпты жағдайдан қабаттағы жағдайға және керісінше қайта есептеген кезде қолданылады (мәселен, газ қорын есептеген кезде):

$$b = \frac{V_{каб}}{V_{ж}} = z \frac{T_{каб} \cdot P_{ж}}{P_{каб} \cdot T_{ж}} \qquad (2.24)$$

Газ тұтқырлығы – газдың бір бөлігінің басқа бөліктің орын ауыстыруына кедергі көрсету қасиеті.

Динамикалық тұтқырлық (μ) және **кинематикалық тұтқырлық** (ν) деп екіге бөлінеді. Кинематикалық тұтқырлық ауырлық күшінің әсерін ескереді. Көмірсутекті газдың тұтқырлығы қалыпты жағдайларда үлкен емес және 0,01 сантипуаздан сапайды. Табиғи газдың көмірсутексіз компоненттер:гелий, азот, көмірқышқыл газы, күкіртсутегі, ауа – едәуір тұтқырлықты құрамдаушылар. Олардың тұтқырлық мөлшері 0,01-ден 0,025 спз. аралығында өзгереді.

Динамикалық тұтқырлық газ молекулаларының орташа жүріп өту жылдамдығы мен газ молекулаларының орташа жылдамдықпен қозғалуына тәуелді:

$$\mu = \frac{\rho \bar{v} \bar{\lambda}}{3}, \qquad (2.25)$$

мұндағы ρ – газ тығыздығы;

$\bar{\lambda}$ – малекулалар жүріп өтуінің орташа ұзындығы;

$\bar{v}$ – молекулалардың орташа жылдамдығы.

Температура ұлғайған сайын молекулалардың жүріп өтуінің орташа ұзындығы және молекула қозғалысының орташа жылдамдығы ұлғаяды, осыдан газ тұтқырлығы тығыздықтың төмендеуіне қарамастан ұлғаяды.

Қысымның 1-ден 10 атм дейін ұлғаюы газ тұтқырлығына әсер етпейді, себебі молекуланың орташа жүріп өтуінің жіне молекула қозғалысының орташа жылдамдығының төмендеуі тығыздықтың ұлғаюымен компенсацияланады. Алайда бұл заңдылықтар 30 атм (3 МПа көп) жоғары қысымда өзгереді. Газ критикалық қысым облысына жақындайды және сұйық күйге ауысады. Сұйық жүйелердің тұтқырлығы Ньютон заңымен сипатталады және оларға өзіндік саңдылықтар сипатты болады.

Бақылау сұрақтары;

1. Аддитивтік жүйені қалай түсінесіз ?
2. Газ қоспасының тығыздығы қалай есептеледі?
3. Физикалық және химиялық қасиеттерін бағалау мақсатында газ қоспасының құрамы қалай өрнектеледі?
4. Газдың массалық, мольдік және көлемдік үлесін сипаттаңыз?
5. Газ қоспасының молекулалық массасын есептеу қандай прнципке негізделген?
6. Газдың салыстырмалы тығыздығы қандай қосылыстың тығыздығына негізделіп есептеледі?
7. Идел газ қоспасының қысымы ненің қосындысына тең?
8. Газ қоспасы компоненттері көлемінің аддитивтілігі қандай заңмен өрнектеледі?
9. Табиғи газдардың көптеген физикалық қасиеттерін анықтау мақсатында қандай теңдік қолданылады?
10. Динамикалық және кинематикалық тұтқырлықтың анықтамасын беріңіз.

2.1.3 Газдардың мұнайдағы және судағы ерігіштігі

Қабат мұнайында еріген газдың мөлшеріне мұнайдың

барлық маңызды қасиеттері тәуелді болады: тұтқырлық, сығымдылық, термиялық кеңеюі, тығыздық және т.б.

Мұнай газы компоненттерінің сұйық және газ күйіндегі фазалар арасында таралуы еру процестерінің заңдылықтарымен анықталады. Газдың мұнай мен суда еру қабілеті кен орнын игерудің барлық кезеңдерінде: мұнайды өндіру, оны дайындау және тасымалдауда үлкен маңызға ие болады.

Үлкен емес қысым мен температураларда идеал газдың еру процесі Генри заңымен сипатталады:

$$V_Г = \alpha P V_c \text{ немесе } \frac{V_Г}{V_c} = KP \qquad (2.26)$$

мұндағы V_c – еріткіш сұйықтықтың көлемі;

α – газдың еру коэффициенті;

$V_г$ – берілген температурада еріген газ көлемі;

Р – сұйық үстіндегі газдың қысымы;

К –Генри константасы [К=f(α)].

Газдың ерігіштік коэффициенті (α) мынадай сипатқа ие болады: берілген қысымда сұйықтың бірлік көлемінде ($V_ж$) қанша газ мөлшері ($V_г$) ерігендігін көрсетеді:

$$\alpha = \frac{V_г}{V_ж P} \cdot \qquad (2.27)$$

Ерігіштік коэффициенті газдың және сұйықтықтың табиғатына, қысымына, температурасына тәуелді.

Су мен көмірсутектердің табиғаты әртүрлі. Мұнай газы құрамындағы көмірсутегі бөлігі көмірсутегі жүйесінде және мұнайда жақсы ериді, ал суда нашар ериді. Мұнай газының көмірсутегі емес компоненттері яғни CO, CO_2, H_2S, N_2 суда жақсы ериді. Мысалы, сеноманды горизонттағы қабат суы өте газдалған, 1т судың өұрамында 5м3 газ бар:CO және CO_2.

Мұнайда көмірсутегінің ерігіштігі Генри заңына бағынады. Қысым жоғарылаған сайын көмірсутегі газының ерігіштігі ұлғаяды, ал температура жоғарылаған сайын ерігіштік төмендейді, температура жоғарылағанда көмірсутегі газы мұнайда нашар ериді.

Мұнай газының әртүрлі компоненттері сұйықтықта ерудің түрлі қабілеттеріне ие. Газ компоненттерінің молекулалыө массасы өскен сайын ерігіштік коэффициенті жоғарылайды. Көмірсутегі газының еру деңгейі еріткіштің молекулалық массасына байланысты емес, оның табиғатына тәуелді.

Көмірсутегінің суда ерігіштігі Генри заңына бағынбайды. Суда мұнай газының ерігіштік коэффициенті кең көлемде өзгереді, яғни 4 – 5 $\cdot 10^{-5}$ $м^3$ / ($м^3 \cdot$Па) дейін. Газдың ерігіштігі судың минерализациясына, қысымға, температураға тәуелді. Минерализация жоғарылағанда суда көмірсутегінің ерігіштігі төмендейді. Температура жоғарылағанда суда көмірсутегінің ерігіштігі бастапқыда азаяды, максимумнан өткеннен кейін жоғарылайды.

Мұнайдан бөлінетін газдың көлемі тек мұнайдағы газдың құрамына байланысты емес, газсыздандыру тәсіліне де байланысты. Контакты газсыздандыру, бөлініп шыққан газ мұнаймен байланыста болады. Дифференциалды газсыздандыру, мұнайдан бөлініп шыққан газ үздіксіз жүйеден алып кетіледі. Дифференциалды газсыздандырудың қатаң шарттарын лабораториялық жағдайда орындау қиын, сондықтан оны сатылы газсыздандыруға ауыстырылды. Көп сатылы газсыздандыру пайдалы.

Мұнайды өндіру процесінде газсыздандырудың екі тәсілі де кездеседі. Бастапқыда қанықкан қысымның қысымын төмендеткенде, мұнайға қатысты газ қозғалмағанда, контакты газсыздандыру болады. Келесі периодта мұнайдан газдың бөлінуіне байланысты, газ скважинаның түбіне қарай жылдам жылжиды және осыдан кейін дифференциалды газсыздандыру туралы айтуға болады.

Газсыздандыру коэффициентін қысымды бірлікке төмендеткен кезде мұнайдың бірлік көлемінен бөлінген газ көлемі арқылы анықтайды. Газсыздандыру коэффициенті дифференциалды газсыздандыру тәсіліне қарағанда, контактты газсыздандыру тәсілінде аз болады.

Қабат бойынша газдың қозғалуы кезінде дроссельдік эффектті байқауға болады. Дроссель эфекті-газ тар канал өткенде газ ағынының қысымы азаяды. Сонымен қатар температураның өзгеруін де байқауға болады. Қысымның өзгеруі кезінде температураның интенсивті өзгеруін Джоуль - Томсон

коэффициентімен сипаттайды:

$$\Delta T=\alpha\cdot\Delta P, \qquad (2.28)$$

мұнда: ΔT – температураның өзгеруі:

α – Джоуль-Томсон коэффициенті (газдың табиғатына, қысымға, температураға тәуелді);

ΔP – қысымның өзгеруі.

Қабатта газдың қозғалуы кезінде температураның төмендеуі, қысымның төмендеуімен салыстырғанда жоғары емес. Қабат жағдайында, яғни ереже бойынша газдың қозғалуы изотермиялық жағдайда өтеді. Түпке жақын әсіресе түптік штуцерлерде газдың дроселдеуі температураның төмендеуіне алып әкеледі; бұл құбылыстың құрамында парафины көп мұнай кен орындарын пайдаланған кезде маңызы зор.

Бақылау сұрақтары:

1.Идеал газдың ерігіштігі қандай заңмен сипатталады.

2. Газдың ерігіштік коэффициенті қандай параметрлерге тәуелді.

3. Газсыздандыру коэффициенті қалай анықталады.

4. Дроссельдік эффектті құалай түсінесіз.

5. Қысым өзгерген кезде температураның өзгеру қарқыны қандай коэффициентпен сипатталады.

2.1.4. Мұнайдың газбен қанығу қысымы

Газдың толық мөлшері сұйықтықта еріген кездегі қысымды қанығу қысымы деп атайды.

Егер қабат қысымы қаныққан қысымнан аз болса, онда газдың бір бөлігі бос күйде болады, кеніште газ бүркемесі (газ шапкасы) бар. Егер қабат қысымы қаныққан қысымнан жоғары болса, онда барлық газ мұнайда еріген күйде болады. Қаныққан қысым қабат қысымына сәйкес болуы мүмкін, бұл жағдайда мұнай толығымен газбен қаныққан болады.

Қабат мұнайының қаныққан қысымын максимальды қысым деп атайды. Термодинамикалық тепе теңдік шарттарында, яғни оның изотермиялық ұлғаюы кезінде мұнайдан газ бөліне бастайды. Қаныққан қысым мұнай көлемі мен еріген газдың

көлемінің қатынасына, олардың құрамы мен қабат температурасына байланысты. Мұнайдың молекулярлық массасының жоғарылауымен бұл параметр жоғарылайды. Мұнайда нашар еритін газ құрамындағы компоненттердің санының жоғарылауымен қаныққан қысым да жоғарылайды. Егер мұнайда азот көп еріген болса, онда мұнай жоғары қаныққан қысымға ие болады. Температураның төмендеуімен қаныққан қысым елеулі жоғарылайда.

Бақылау сұрақтары:

1. Қанығу қысымы дегеніміз не.
2. Қанығу қысымы қандай параметрге тәуелді.
3. Қавндай мұнай ерекше жоғары қанығу қысымымен сипатталады.

2.2. Мұнайдың құрамы және физикалық - химиялық қасиеттері

Мұнай органикалық қосылыстардың (көмірсутектер, гетератомды қосылыстар) күрделі қоспасы болып табылады. Мұнай құрамы өте күрделі және әр түрлі болып келеді. Ол бір кеніштің өзінде де әр түрлі болуы мүмкін.

Мұнайды консистенциясы бойынша жеңіл қозғалатыннан ауыр қозғалатынға дейін немесе қалыпты жағдайда қатып қалатынға дейін бөледі. Мұнайдың түсі қою жасылдан қараға дейін өзгереді.

Мұнайда негізінен келесідей көмірсутектер түрлері бар:

Парафинді көмірсутектер (алкандар) – қаныққан көмірсутектер, жалпы формуласы $C_nH_{2n+2.}$ Олардың мұнайдағы құрамы 30 - 70% құрайды. Алкандар қалыпты құрылымды (қ – алкандар – пентан және оның гомологтары), изо құрылымды (изоалкандар – изопентан және фитан т.б.) және изопрен құрылымды (изопрендер – пристан, фитан және т.б.) болып бөлінеді. Мұнайда C_1 ден C_4 арасында газ түріндегі алкандар (еріген газ күйінде) кездеседі. Сұйық алкандар C_5 – C_{16} мұнайдың сұйық фракциясының негізгі массасын құрайды. Қатты алкандар C_{17} – C_{53} мұнайдың ауыр фракциясына кіреді; олар парафин ретінде танымалы.

Нафтенді көмірсутектер (циклоалкандар) - қаныққан

алициклді көмірсутектер. Оған жалпы формуласы C_nH_{2n} моноциклдер, бициклдер - C_nH_{2n-2} , трициклдер - $C_nH_{2n-4,}$, тетрациклдер - C_nH_{2n-6} жатады. Мұнайдағы оның құрамы 25 - 75% аралығында өзгереді. Нафтеннің құрамы мұнайдың молекулалық массасы артқанда жоғарылайды.

Ароматты көмірсутектері (арендер) – молекулаларында циклдық π-жүйелер кездеседі. Мұнайдағы оның құрамы 10 нан 50% дейін өзгереді. Оларға мынылар жатады: бензол және оның гомологтары (толуол, ксилолдар), бициклдық қосылыстар: нафталин және оның гомологтары, трициклдық қосылыстар: фенатрен, антрацен және оның гомологтары, тетрациклдықтар: пирен және оның гомологтары және с.с

Гибридті көмірсутектер (церезиндер) – аралас құрылымды көмірсутектер: парафин – нафтен, парафин – ароматты, нафтенді – ароматы қатарындағы құрылымдар. Негізінен бұл қатты алкандар ұзын тізбекті көмірсутектер қоспасымен, құрамында циклдік және ароматтық ядролар бар. Олар мұнайды өндіру мен дайындау жүйесіндегі парафин шөгінділерінің негізгі бөлігін құрайды

Гетероатомды қосылыстар – молекула құрамына оттегі, күкірт, азот, металдар кіретін көмірсутектер, Оларға жататындар:

1. құрамында оттегі бар – фенолдар, нафтенді қышқылдар, майлы қышқылдар және т.б., мұнайдағы құрамы 0,1 ден 1% құрайды.
2. құрамында күкірт бар – меркаптандар, сульфидтер, дисульфидтер, тиофендер және т.б. мұнайдағы құрамы 0,1 ден 1-6 % құрайды.
3. құрамында азот бар – аминдер, пиридиндер, хинолиндер, пирролдар және т.б. мұнайдағы құрамы 0,02 ден 0,4 -1% құрайды.
4. порфириндер-құрамында төрт пирролдық сақиналар бар және ванадий, никель атомдарымен байланысқан құрылымдар; мұнайдағы құрамы 1% кем.
5. шайырлар және асфальтендер - жоғары молекулалы қосылыстар, құрамында екі және одан да көп гетероатомдар бар, мұнайдағы құрамы 1 ден 35% құрайды.

Мұнайда аз мөлшерде минералды заттар және су кездеседі.

Мұнайдың фракциялық құрамын, айыру барысындағы әртүрлі қайнау температурасында олардан шығатын

фракциялар арқылы анықтайды. Мұнай кең темпратуралар аралығында 28-540°С қайнайды. Мұнайдың негізгі фракцияларын келесідей бөледі:

- 28 -180°С – кең бензин фракциясы;
- 140-200°С – уайт-спирт;
- 180-320°С – кең керосин фракциясы;
- 150-240°С – шырағданға құйылатын керосин;
- 180-280°С– реактивтік отын;
- 140-340°С – дизельдік отын (жазғы);
- 180-360°С – дизельдік отын (қысқы);
- 350-500°С – кең майлы фракция;
- 380-540°С – вакуумдық газойль.

Фракциялау АВТ (атмосфералық-вакуумдық құбырша) қондырғысында жүзеге асырылады.

Бақылау сұрақтары:

1. Тұтқырлығына байланысты мұнайды жіктеу.
2. Парафинді көмірсутектер.
3. Нафтенді көмірсутектер.
4. Мұнайдың фракциялық құрамы.
5. Гереатомды құрылымдар.

2.2.1. Мұнайдың физико-химиялық қасиеттері

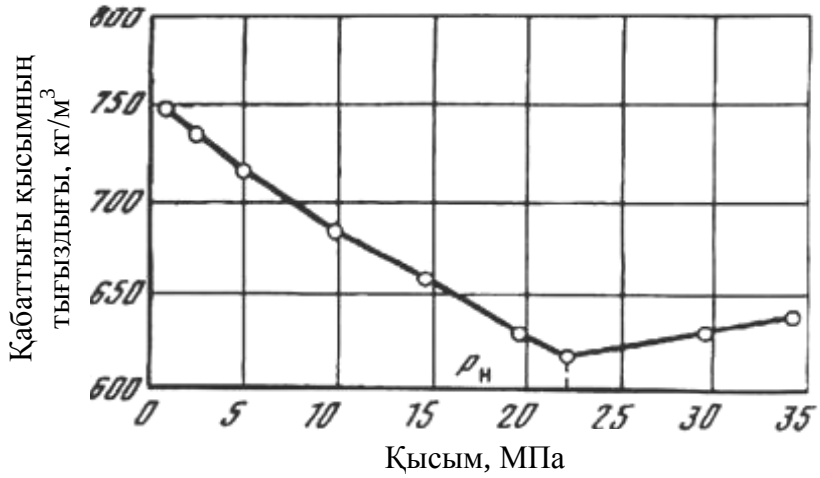
Тығыздық бірлік көлемдегі, тыныштық күйдегі массаның көлемін сипаттайды: $\rho = m / v$ [г/см^3; кг/м^3]. Салыстырмалы тығыздық (ρ^o) мұнайдың абсолюттік тығыздығының ($\rho_н$) 4^{o}С кезіндегі су тығыздығына ($\rho_в$) қатынасы:

$$\rho^o = \rho_н / \rho_в. \qquad (2.29)$$

Тығыздық ($\rho_н$) және меншікті салмақ ($d_н$) бір-біріне сәйкес келе бермейді. Меншікті салмақ дегеніміз бір көлемдегі мұнай салмағының су салмағына қатынасы. Айырғыштан (сепаратордан) өткен мұнайдың тығыздығы 820-950 кг/м^3 аралығында болады. Тығыздық бойынша мұнайды былай бөледі: жеңіл - 820-860, орташа – 860-900, ауыр – 900-950 кг/м^3 . Мұнайдың тығыздығы аз болса, ашық фракциялардың шығу

көлемі жоғарылайды. Температура жоғарылаған сайын сепарацияланған мұнайдың тығыздығы азаяды, ал қысым жоғарыласа тығыздығы артады.

Қабат мұнайының тығыздығы мұнайдың құрамына, қысымына, температурасына, еріген газдың көлеміне тәуелді. Қабат қысымы жоғарылағанда мұнайдың тығыздығы төмендейді, яғни еріген газ көлемінің жоғарылауынан қанықкан қысымға тең қысымға дейін азаяды (сурет 2.2). Еріген көмірсутегі газының көлемі ұлғайғанда тығыздық азаяды.



Сурет 2.1. Қабатағы мұнай тығыздығы мен қысымның арасындағы тәуелділік

Барлық газдар мұнайда еріп оның тығыздығына әсер ете бермейді. Қысым жоғарылағанда, мұнайды көмірсутегі газымен қанықтырған кезде оның тығыздығы төмендейді. Мұнайдың тығыздығы, яғни мұнайды азот немесе көмірқышқыл газымен қанықтырған кезде,яғни қысым жоғарылағанда, артады.

Кеніште тығыздықтың көлемі күмбезден қанатқа және табанға қарай жоғарылайды.

Тұтқырлық – мұнай жүйесіндегі маңызды технологиялық қасиет. Тұтқырлықтың мөлшерін қабатта фильтрация жылдамдығын бағалау кезінде, ығыстыру агентінің типін таңдау кезде, мұнайды өндіру сорабының қуатын есептеу кезінде және т.б. есепке алады.

Мұнай - идеаль емес жүйе. Химиялық тұрғыдан қарағанда көмірсутектер мен гетероқосылыстар бір-бірімен әрекеттеседі.

Тұтқырлық (абсолюттік, динамикалық) – оларды өзара

араластыру кезінде бірлік бетте, сұйық пен газдың ішіндегі, екі қатпардың арасында пайда болатын үйкеліс күші. (сурет. 2.2).

Динамикалық тұтқырлықты Ньютон теңдеуі бойынша анықтайды:

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dy}, \qquad (2.30)$$

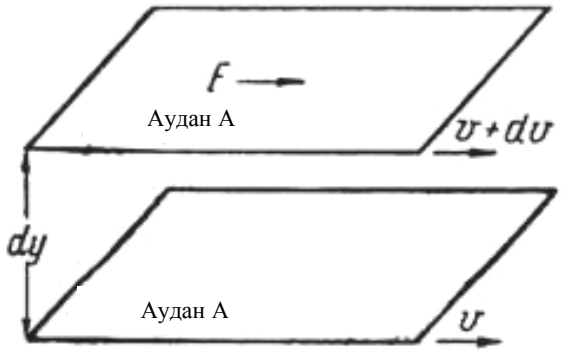
мұнда: А – сұйық қатпарларының (араласу ауданы 2.2 суретті қара);

F – қабатқа түсірілген күш;

dy – сұйық қатпарларының арасындағы арақашықтық;

dw-жылдамдық айырымы;

μ –пропорциональдық коэффициент, тұтқырлық.



Сурет 2.2. Сұйықтың екі қатпарының бір- біріне қатысты қозғалысы

Динамикалық тұтқырлықтың өлшем бірлігін Ньютон теңдеуінен анықтайды:

- БХЖ жүйесі – [Па·с, мПа·с];
- СГС жүйесі – [пуаз (пз), сантипуз (спз)] = [г/(см·с)].

Температураның жоғарылаумен сепарацияланған мұнайдың тұтқырлығы азаяды, ал қысым жоғарыласа жоғарылайды. Фракцияның молекулалық салмағы, тығыздығы, фракцияның қайнау температурасының жоғарылауымен тұтқырлық шамасы өседі.

Тұтқырлық пен **аққыштық (φ)** параметрлері бір-бірімен байланысқан. **Аққыштық (φ)** – кері динамикалық тұтқұрлыққа крі шама:

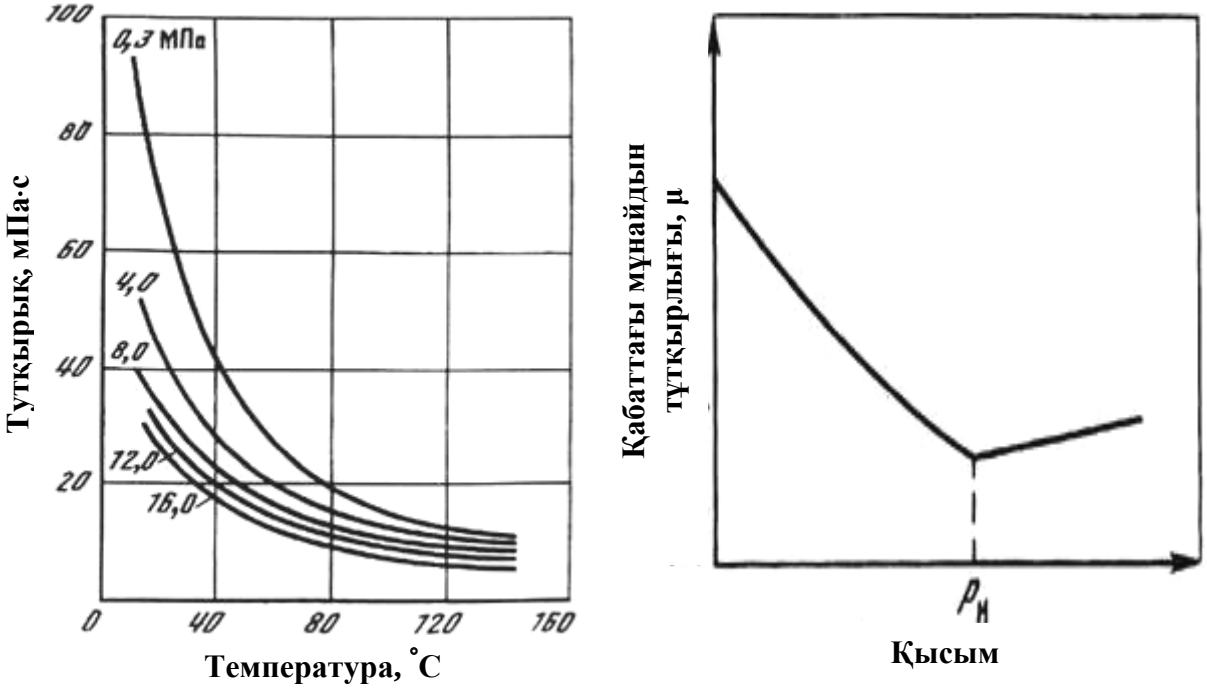
$$\varphi = 1/\mu . \qquad (2.31)$$

Есептеу мақсатында динамикалық тұтқырлықтан басқа кинематикалық тұтқырлықты пайдаланады. Кинематикалық тұтқырлық динамикалық тұтқырлықтың тығыздыққа қатынасымен сипатталады:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} . \qquad (2.32)$$

Кинематикалық тұтқырлықтың өлшем бірлігі:
- БХЖ жүйесі – [$м^2/с$, $мм^2/с$];
- СГС жүйесі – [стокс (ст), сантистокс (сст)]; 1сст =$1 \cdot 10^{-4}$ $м^2/с$.

Қабат мұнайының тұтқырлығы сепарацияланған мұнайдың тұтқырлығынан ерекшеленеді. Өйткені еріген газдің көлемі, жоғары қысым және температура әсерінен өзгеріске ұшырайды (сурет. 2.3).



Сурет 2.3. Қысым мен температураға байланысты қабат мұнайы тұтқырлығының өзгеруі

Мұнайда еріген көмірсутегі газдың көлемінің жоғарылауымен тұтқырлық азаяды. Газ компонентінің (CH_4

тен C_4H_{10} дейін) молекулалық массасының жоғарылаумен мұнайдың тығыздығы азаяды, ал сұйық компоненттердің (C_5H_{12} ден жоғары) молекулалық массасының жоғарылауымен мұнай тұтқырлығы өседі. Мұнайда еріген азоттың көлемі жоғарылағанда қабат мұнайының тығыздығы өседі. Қысымның жоғарылауы тұтқырлықты жоғарылатады, ал температура өскен кеде тұтқырлық төмендейді. Шикі мұнайдың тұтқырлығы сепарацияланған мұнайдың тұтқырлығынан артық. Арена қоспасының тұтқырлығы алкан қоспасының тұтқырлығынан көп. Мұнайда шайыр мен асфальтен көп болса, соғұрлым тұтқырлығы жоғары болады.

Әртүрлі кенорынның қабат жағдайында мұнайдың тұтқырлығы жүздеген мПа·с ондық мПа·с ондық бөліктеріне дейін өзгереді. Қабат жағдайындағы мұнайдың тұтқырлығы сепарацияланған мұнайдың тұтқырлығынан он есеге дейін аз болуы мүмкін.

Тұтқырлық мұнайдың реологиялық қасиеттеріне әсер етеді. Реология - мұнайдың құрылымды механикалық қасиетін, қатты-сұйық денелердің механикалық қасиетін зерттейтін ғылым. (2.30) теңдеуіндегі координат жылдамдығын (dv) - өрнекпен dx /dt ауыстыруға болады, мұндағы x –жылдамдықтың v қозғалыс бағытында өткен жолдың ұзындығы, t – уақыт. dx/dy көлемін (γ) қатпардың жылжуын, деформацияны сипаттайды. F/A қатынасы – сұйық қатпарларының қозғалысында дамитын (τ) жанама кернеудің көлемі. Онда Ньютон сұйықтары үшін Ньютон теңдеуін былай жазуға болады:

$$d\gamma/dt = \tau/\mu. \qquad (2.33)$$

Ньютон сұйықтарында жылжу жылдамдығы жанама кернеуі пропорциональды және сұйықтың тұтқырлығына кері пропорциональды. (2.33) теңдеуі кернеу мен жылжу жылдамдығының арасындағы байланысты сипаттайды, оны **реология** деп атайды. Мұнайдың реологиялық сипатамасын құрамындағы шайыр, асфальтен, парафинның болу деңгейімен анықтайды.

Сұйықтың тұтқыр пластикалық ағысын Бингам теңдеуімен сипаттайды:

$$\tau = \tau_o + \mu^* (d\gamma/dt), \qquad (2.34)$$

мұнда τ_o – жылжудың динамикалық кернеуі;

μ^* - пластикалық сұйықтардың тұтқырлығы болып көрінетін шама, байланыстың $d\gamma/dt = f(\tau)$ сызық бөлігінің бұрыштық коэффициентіне тең,

Тұтқыр пластикалық мұнайдың қозғалысы - деформация жылдамдығының модулінен жанама кернеудің байланыстылығы сипатталады:

$$\tau = K(d\gamma/dt)^n, \qquad (2.35)$$

мұндағы К – сұйықтың консистенциялау (қою, сұйық) шамасы, тұтқырлық өскенде жоғарылайды;

n – функция көрсеткіші, n =1 болған кезде, (2.35) теңдеуі ньютон сұйықтығының ағысын сипаттайды.

Мұнайдың сығылуы. Мұнайға басқа сұйықтар сияқты серпімділік қасиет тән, яғни сыртқы қысымдардың әсерінен өзінің көлемін өзгертеді. Көлемнің кішірейуін сығылу коэффициентімен сипаттайды (немесе көлемдік серпімділік) β:

$$\beta_н = -\frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta P}. \qquad (2.36)$$

Сығылу коэффициенті қысымға, температураға, мұнайдың құрамына және газ факторына тәуелді. Құрамында еріген газы жоқ мұнайдың сығылу коэффициенті төмен болады (0,4-0,7 $ГПа^{-1}$), ал құрамындажоғары мөлщерде еріген газы бар жеңіл мұнайдың сығылу коэффициенті жоғары болады (14 $ГПа^{-1}$ дейін). Демек, тығыздық жоғарылағанда сығылу коэффициенті төмендейді,ал еріген көмірсутегі газының көлемі жоғарылағанда сығылу коэффициенті артады. Қабат температурасының өсуі сығылу коэффицентін жоғарылатады.

Мұнайдағы еріген газдың мөлшерімен көлемдік коэффициент b байланысқан, қабат жағдайындағы мұнай көлемінің, мұнайдың газсыздандырлған көлеміне қатынасын сипаттайды.

$$b = \frac{V_{пл}}{V_{дег}}, \qquad (2.37)$$

мұнда, $V_{пл}$ – қабат жағдайындағы мұнай көлемі;

$V_{дег}$ – газсыздандырудан кейінгі 20°С температура мен атмосфералық қысым кезіндегі мұнайдың көлемі.

Көлемдік коэффициентті пайдаланып мұнайдың шөгуін (U) анықтауға болады, яғни қабат мұнайын жоғарыға шығару кезінде көлемінің азаюы (%).

$$U = \frac{b-1}{b} \cdot 100\%, \qquad (2.38)$$

Кейбір мұнайлардың шөгуі 45-50% дейін жетеді.

Жану жылулығы 1 кг сұйық толық жанған кезінде бөлінетін жылу мөлшері. Ол жоғары ($Q_в$) және төменгі ($Q_н$) жану жылулығы болып екіге бөлінеді. Жоғары жану жылулығы – бұл құрамында ылғал бар 1 кг сұйық жанған кезде бөлетін жылу мөлшері. Төменгі жану жылулығы – су мен ылғалдың буланууына бағытталған жылуды есептемегендегі 1 кг сұйық жанған кезде бөілетін жылу мөлшері. Газ үлгідегі көмірсутектердің молекулалық массасы, фркциялардың молекулалық массасы, ылғалдылық жоғарылағанда жану жылулығы өседі.

Мұнайдың диэлектрлік қасиеттері. Мұнай – диэлектрик болып табылады. Диэлектрлік өткізгіштік (ε) берілген заттағы электрлі зарядтардың өзара әрекеттесуінің вакуумдағы өзара әрекеттесу мөлшерінен қаншалықты аз екенін көрсетеді. Теория бойынша егер заттың ε < 2,5 болса, онда зат диэлектрик болып саналады. Диэлектрлі өткізгіштіктің сандық мағынасы мына диапазонда өзгереді: ауа үшін → 1 – 1,0006; мұнай үшін → 1,86 – 2,38; мұнайгазы үшін → 1,001 – 1,015; шайыр мен асфальтендер үшін → 2,7 – 2,8; су үшін → 80 – 80,1. Минерализация жоғарылағанда диэлектрлік өткізгіштік төмендейді. Мысалы, судағы NaCl ерітіндісі үшін, NaCl концентрациясы 5,6% тең болған кезде, судың диэлектрлік өткізгіштігі 69,1 тең, ал NaCl концентрациясы 10,7% тең болған кезде диэлектрлік өткізгіштігі 59 дейін төмендейді.

Бақылау сұрақтары:

1. Мұнайдың тығыздығы мен тұтқырлығы.
2. Динамикалық тұтқырлық.
3. Сұйықтардың тұтқыр пластикалық ағынын сипатау.
4. Мұнайдың шөгуі.
5. Мұнайдың диэлектрлік қасиеттері.
6. Мұнайдың жану жылулықтары.

2.2.2 Мұнайгазды кеніштің шегіндегі мұнай қасиеттерінің айырмашылығы.

Бір қабат шегіндегі мұнайдың құрамы мен физикалық қасиеттері тұрақты бола бермейді. Мұнай қасиетінің өзгеруі негізінен, қабаттың орналасу тереңдігіне байланысты.

Кеніштің жоғарыға шығатын жері болмаса және айналасы шеткі сулармен қоршалса, қабаттың орналасу тереңдігі өскен сайын мұнайдың тығыздығы мен шайыр көлемі артады. Мұнайдың тығыздығы күмбезден күмбез қанаттарына қарай жоғарылайды. Кеніштің күмбез бөлігінде газ көп болады. Сумұнайлы зонада тотығу процестері жүреді. Бұл процес контурдың ішкі аймағындағы мұнайдың тығыздығын жоғарылатады.

Мұнай тұтқырлығы күмбезден күмбез қанаттарына қарай жоғарылайды.

Мұнайгазбен қаныққан қысым және мұнайдың бірлік көлемінде еріген газдың көлемі сумұнайлы контактқа қарай бағытталғанда азаяды. Ал мұнайдың көлемдік коэффициенті қанат қатпарларына карай азаяды. Қанатқа қарағанда күмбезді қатпардағы газдың құрамында азот, метан, пропан жуық шамамен 2% көп. Бутанды көмірсутектер қанатта көптеп кездеседі. Әр кеніштің қабат бойынша мұнай қасиетін өзгертетін себептері бар. Кеніш бойынша мұнай қасиетінің өзгеруін зерттейтін әдістердің бірі фотоколоиметрия. Әдістің негізінде ерітіндінің жарық ағынын жұту қабілеті жатыр. Жарық ағынын жұту деңгейі асфальт шайырлы заттардың құрамына байланысты. Мұнай құрамының өзгеруімен бірге оның тұтқырлығы, тығыздығы және басқа қасиеттері өзгереді. Сондықтанда мұнай колориметриялық қасиеті бойынша өзгерсе, оның басқа параметрлерінің өзгергендігін жорамалдауға болады.

Ұңғымадан өндіріп жатқан мұнайдың қасиетін және құрамының динамикалық өзгерісін білсек, онда мысалы, қабаттағы мұнайдың қозғалу бағытын жорамалдауға болады, мұнай және айдау ұңғымаларының арасында байланыс орнатуға және бөлек қатпарлардың өнімділігін бағалауға болады.

Бақылау сұрақтары:

1. Мұнай қасиеттерін зерттеу тәсілдері.
2. Мқнайдың калориметриялық қаситеттері.
3. Кеніштің қандай бөлігінде тотығу процестері жүреді.

2.3 Қабат суының құрамы мен физикалық – химиялық қасиеттері.

Мұнай кенорындарын пайдалану кезінде ұңғымалар бірте бірте суланады. Ұңғыма өнімінде қабат суы жоғарылайды және ол 95 - 98% құрауы мүмкін. Сондықтан да мұнай және газ өндіру процесіне қабат суының қалай әсер ететінін білу қажет.

Қабат суының құрамы әртүрлі және пайдаланылып жатқан мұнай қабатының табиғатына, мұнай және газдың физикалық–химиялық қасиеттеріне тәуелді.

Келесідей қабат суының түрлері бар:

- табан сулар (кеніш астындағы коллектор кеуектерін толтыратын су)
- шеткі су (кеніштін айналасын толтыратын су);
-аралық су (қатпарлар арасындағы су);
- қалдық су (су кенішінің қалдық суы).

Бұл судың барлық түрлері толыққанды гидродинамикалық жүйені құрайды. Қабат суы мұнайды қабаттан ығыстырып шығатын агент болып табылады. Сол себебті оның қасиеттері ығыстырылып шығатын мұнайдың көлеміне әсер етеді.

Бақылау сұрақтары:

1. Қабат суларының түрлері.
2. Қабат суының құрамына не әсер етеді.
3. Мұнай кеніштерін пайдалау кезінде ұңғымада өтетн процестер.

2.3.1 Қабат суының физикалық – хмиялық қасиеттері

Судың минерализациясы судағы еріген тұздың г/л мөлшерін сипаттайды. Қабат суында әркезде еріген тұздың мөлшері болады. Минерализация деңгейі бойынша қабат суын төрт типке бөледі:

- тұздық (Q>50 г/л);
- тұзды (10<Q<50 г/л);
- тұздалған (1<Q<10 г/л);
- тұшы (Q≤1 г/л).
- Қабат тереңдеген сайын қабат суының минерализация дәрежесі артады.

Қабат суында еріген тұздардың иондары болады:

- аниондар: OH^-; Cl^-; SO_4^{2-}; CO_3^{2-}; HCO_3^-;
- катиондар: H^+; K^+; Na^+; NH_4^+; Mg^{2+}; Ca^{2+}; Fe^{3+};
- микроэлементтердің иондары: I (иод); Br^-;
- коллоидты бөлшектер SiO_2; Fe_2O_3; Al_2O_3;
- нафтен қышқылдары және оның тұздары.

Суда хлорлы тұз көп, ол жалпы тұз мөлшерінің 80-90% құрайды. Қабат суындағы мөлшеріне байланысты тұз катиондарының мындай қатары белгілі: Na^+; Ca^{2+}; Mg^{2+}; K^+; Fe^{3+}.

Тұздың еруіне және қабат суында оның концентрациясының өсуіне температура мен CO_2 парциалдық қысымының маңызы зор. Суда $CaCO_3$ максимальды еріуі 0^oC кезінде байқалады, температура жоғарылағанда ол төмендейді. Суда гипстің ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) максимальды еріуі 40^oC кезінде байқалады. Әрі қарай температура жоғарылағанда ол төмендейді. CO_2 парциальды қысымының өсуімен $CaCO_3$ ерігіштігі өседі. Қабат қысымының төмендеуі $CaCO_3$ тұзының шөгу процесін күшейтеді. Қабатта термобарикалық шарттар өзгерсе, қабат суының аз минерализациясы кезінде де тұздың ерігіштігіне және оның шөгуіне әсер етеді.

Суда тұздың еру типі бойынша қабат суы хлоркальцийлі және гидрокарбонатты деп бөленеді. Қабат суының типі анионмен авныкталады. Судың гидрокарбонатты типі тұз көмір қышқылының тұзымен анықталады (құрамында карбонат - CO_3^{2-}, немесе анионның бикарбонаты - HCO_3^- болуы қажет). Қалған барлық қышқылдардың тұзары хлоркальцийлі типке жатады. Негізінен, бұл тұз қышқылыдарының тұздары мен

хлоридтер (Cl^-).

Қабат суының тұздары оның қаттылығын (жесткость) анықтайды. Қаттылық деп екі валентті катиондпрдың, яғни кальций, магний және темірдің еріген тұздарының жалпы қосындысын айтады.

Қаттылық уақытша (карбонатты) және тұрақты (карбонатты емес) болып бөлінеді. Уақытша қаттылық ($Ж_к$) немесе кабонатты қаттылық ($Ж_к$) су құрамында карбонат немесе екі валентті металдардың: кальций, магний, темір гидрокарбонаттары болуымен сипатталады.

Тұрақты қаттылық ($Ж_{нк}$) су құрамында сульфаттар мен хлоридттердің , екі валентті металдардың, яғни кальций, магний, темір бар болуымен сипатталады.

Судың жалпы қаттылығын карбонатты және карбонатты емес қосындысымен анықтайды:

$$Ж_о = Ж_к + Ж_{нк} \qquad (2.39)$$

Су қаттылығы былай бағаланады: 1 литрге жатқызылған судағы тұздардың миллиграм эквивалент мөлшерімен $\left(\frac{мг-экв}{л}\right)$ бағаланады.

$Ж_к$, $Ж_{нк}$ барлық і-иондарының ($\sum g_i$) қаттылық қосындысымен анықтайды:

$$Ж_о = \Sigma g_i \qquad (2.40)$$

Ионның қаттылығын ион массасының оның эквивалентіне қатынасымен анықтайды:

$$g_{v,i} = \frac{m_{v,i}}{э_i}, \qquad (2.41)$$

Мұнда: m_{vi} – судағы і ионының концентрациясы (мг/л);

$э_i$ – і ионының эквиваленті.

Ионның эквивалентін ионның молекулалық массасының оның валенттілігіне (n) қатынасымен анықтайды:

$$э_i = \frac{M_i}{n}, \qquad (2.42)$$

Мұнда: M_i – ионның молекулалық массасы;

n – ионның валенттілігі.

Құрамындағы екі валентті катиондардың (кальций, магний, темір) мөлшеріне байланысты табиғи сулар келесідей типтерге бөлінеді:

- өте жұмсақ су – 1,5 мг-экв./л дейін;
- жұмсақ су – 1,5-3,0 мг-экв./л дейін;
- орташа қатты су – 3,0-6,0 мг-экв./л дейін;
- қатты су – 6 мг-экв./л дейін.

Қабат суының қаттылығын және қаттылық бойынша оның типін тәжірибе жасау арқылы анықтайды.

Уақытша қаттылықты термиялық әдіспен, ұзақ қайнатумен немесе химиялық әдіспен, яғни кальцийдің гидрооксидін $Ca(OH)_2$ қосумен жоюға болады. Екі жағдайда да кальций карбонатының $CaCO_3$ тұнбасы пайда болады.

Тұрақты қаттылықты химиялық әдіспен, яғни сода немес сілтіні қосумен жояды.

Судағы сутегі иондарының құрамын сутегі иондарының (pH) концентрация көрсеткішімен анықтайды. Ол сутегі иондары концентрациясының теріс логарифіне тең:

$$pH = -lg\, C_{H^+}, \qquad (2.43)$$

Мұнда: $C_{н+}$ – сутегі иондарының концентрациясы.

pH көрсеткіші сутегі иондарының су молекуласының диссоцацясының нәтижесінде пайда болған активті бөлігін сипаттайды.

pH шамасы бойынша су келесідей типтерге бөлінеді:

- бейтарап орта (pH=7);
- сілтілі орта (pH>7);
- қышқыл орта (p<7).

Судың диссоциация константсасы қысым мен температураға тәуелді, демек, бұл параметрлер pH мағынасына әсер етеді. Температура жоғарылағанда pH азаяды және бұл жағдайды суды қабатқа аудау кезде ескеру қажет.

Қабат суының тығыздығы минерализацияға тәуелді. Қабат суының орташа тығыздығы 1010-1210 кг/м^3 аралығында жатады.

Қабат жағдайында судың тұтқырлығы негізінен температура мен минерализацияға тәуелді. Минерализация жоғарылағанда тұтқырлық өседі. Гидрокарбонатты сумен салыстырғанда хлоркальцийлі судың тұтқырлығы жоғары; шамамен таза су тұтқырлығынан 1,5-2 есе жоғары. Температура жоғарылағанда тұтқырлық азаяды. Төмен температура ауданында (0-40^{o}C) қысым жоғарылағанда тұтқырлық азаяды, ал жоғары температура ауданында (40^{o}C жоғары)-жоғарылайды.

Судың жылулық кеңейуі жылулық кеңею коэффициентімен сипатталады:

$$E = \frac{\Delta V}{V \bullet \Delta t}. \qquad (2.44)$$

Судың жылулық кеңею коэффициенті (Е) мынаны білдіреді: сдың көлем бірлігінің температурасын 1 градусқа өзгерткен кезде бірлік көлемдегі су көлемінің өзгерісі. Тәжірибе бойынша қабат жағдайында ол (18-90)·10^{-5} 1/°C аралығында өзгереді. Температура жоғарылағанда жылулық кеңею коэффициенті өседі, қабат қысымы жоғарылағанда ол-азаяды.

Судың сығылу коэффициенті қысым бірлікке өзгерген кезде судың бірлік көлемінің өзгергендігін сипаттайды:

$$\beta_в = \frac{\Delta V}{\Delta P \cdot V}. \qquad (2.45)$$

Қабат жағдайы үшін судың сығылу коэффициенті 3,7·10^{-10} - 5,0·10^{-10} Па$^{-1}$ аралығында өзгереді. Еріген газ бар болған кезде сығылу коэффициенті жоғарылайды, оның жуық шамасын мына формуламен анықтайды:

$$\beta_{вг} = \beta_в (1+0{,}05 \cdot S), \qquad (2.46)$$

Мұндағы, S – суда еріген газдың мөлшері, м^3/м^3.

Қабат суының көлемдік коэффициенті қабат жағдайындағы судың меншікті көлемінің, стандарт жағдайындағы судың меншікті көлеміне қатынасын сипайтайды:

$$\boldsymbol{b}_{п.в.} = \frac{\nu^{пласт}}{\nu^{с.у.}} . \qquad (2.47)$$

Қабат қысымы жоғарылағанда көлемдік коэффициент азаяды, температура өскенде жоғарылайды. Көлемдік коэффициент 0,99-1,06 аралығында өзгереді.

Қабат суының тұздары – электролиттер. Электролит деп химиялық қосылыстар, яғни еріткішпен әсерлескен кезде толығымен немесе біртіндеп иондарға ыдырайды (диссоциациланады). Электрлік қасиетте иондық қасиет тән және қабат суы электрлік қасиетке ие болады. Қабат суының электрөткізгіштігі кең көлемде қолданылады.

Меншікті электрөткізгіштік (χ) 1 секундта 1 см^2 электролит ерітіндісінің көлденең қимасы (S) өтерін электр өрісінің градиенті 1 см ұзындықта (L) 1 В болған кездегі электр мөлшерін сипаттайды. Меншікті электрөткізгіштік ерітіндінің меншікті кедергісімен ρ кері пропорциональды байланыста болады:

.

$$\chi = L / (RS), \qquad \chi = 1/\rho. \qquad (2.48)$$

БХЖ меншікті электрөткізгіштіктің өлшем бірлігі [ом· м]$^{-1}$, ал СГС жүйесінде өлшем бірлігі [ом·см]$^{-1}$. Минерализация мен полярлық жоғарылағанда меншікті элетрөткізгіштік өседі. Меншікті электрөткізгіштік келесідей диапазонда өзгереді: өзен суларында = 10^{-1} – 10^{-2}; қабат суларында = 10^{-1} – 1; теңіз суларында = 3 – 4; құрамында 5% NaCl бар суларда = 6,6; құрамында 20% NaCl бар суларда = 20; мұнайда = 0,5 · 10^{-7} – 0,5 · 10^{-6}; газ конденсатында = 10^{-10} – 10^{-16} [ом· м]$^{-1}$.

Су мұнаймен контакта болғанда, мұнай біртіндеп суда ериді. Судағы мұнайдың ерігіштік коэффициенті судағы поляр құраушылардың мөлшеріне тәуелді. Мұнай жеңіл болса, онда су аз ериді. Құрамында парафині бар мұнайда су аз болады. Мұнай құрамында ароматты көмірсутектер мен гетероатомды қосылыстар көп болғанда, мұнайдың суда еруі жоғарылайды.

Мұнайда судың еруі есебінен су мен мұнай жанасатын

зонада өзгерістер болады.

Су-мұнайдың нақты шекарасы жоқ. Судың мұнайда еруінің және бір-біріңде диспергирлеудәі нәтижесінде «ауыспалы аймақ» пайда болады; осы аймақтың биіктігі мұнайдың полярлылығына тәуелді.

Бақылау сұрақтары:

1. Минерализация дәрежесіне байланысты қабат суы қанша топқа бөлінеді.
2. Қаттылық (уақытша және тұрақты) дегеніміз не.
3. Судың жалпы қаттылығы.
4. Судың қаттылығы қалай бағаланады.
5. Табиғи сулар қандай типтерге бөлінеді.
6. Судың жылулық кеңеюі қандай коэфициентпен сипатталады.
7. Судың сығылу коэффициенті.
8. Қабат суының көлемдік коэффициенті.
9. Қабат суының электр өткізгіштігі.
10. Меншікті электр өткізгіштік.

3 Көмірсутегі жүйесінің фазалық жағдайы

3.1 Бір компонентті жүйелердегі фазалық ауысымдар сұлбасы

Кен орнынды игеру прцесінде қабатта қысым мен температура үздіксіз өзгереді. Бұл газ және сұйық фазасы құрамының және әртүрлі көмірсутектердің бір фазадан басқа фазаға өтуінің үздіксіз өзгеруімен түсіндіріледі. Әсіресе мұндай айналыстар (құбылыстар) мұнайдың ұңғыма оқпаны бойынша ұңғыма түбінен (ұңғыма табанынан) сағаға дейін қозғалуы кезінде орын алады.

Мұнай мен газдың тұтынушыларға қарай қозғалысы кезінде де фазалық құбылыстар орын алады. Әртүрлі жағдайларда, көптеген практикалық тапсырмаларды шешу үшін фазалық күйлерді, фазалық ауысымдар заңдылықтарын жақсы білу керек.

Мұнайдан газ фазасының интенсивті шығыуы көптеген факторларға тәуелді; олардың негізгісі:

- мұнай ағынының қозғалысы кезінде қысым мен температураның төмендеу қарқыны;
- мұнай құрамында жеңіл көмірсутектердің болуы (C_2–C_6);
- мұнайдың молекулалық массасы;
- мұнайдың тұтқырлығы.

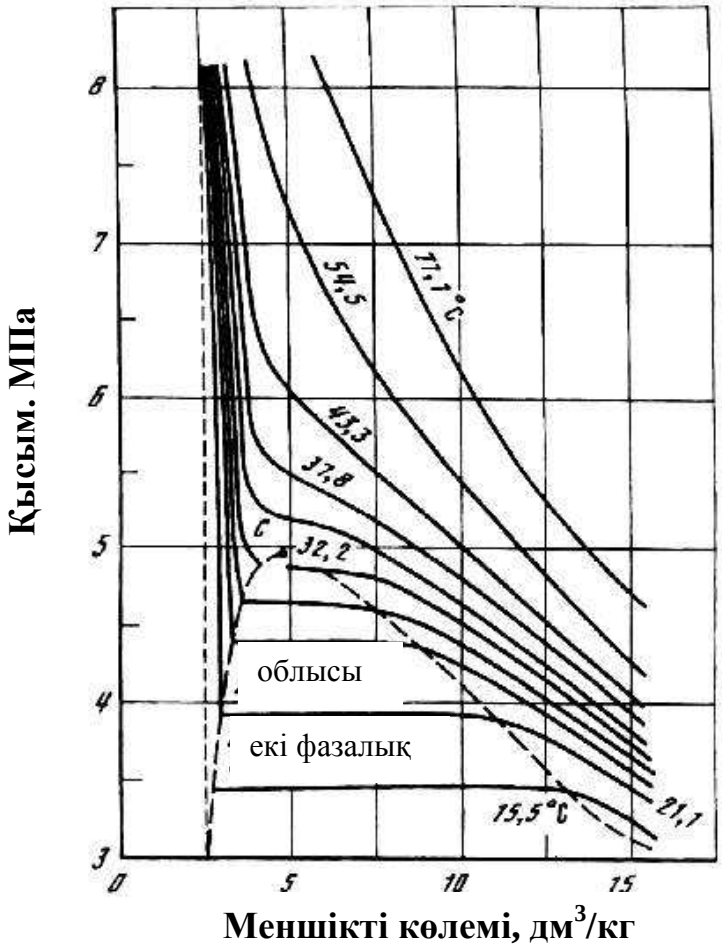
Көмірсутекті газдар қысым мен температура өзгерген кезде өзінің көлемін өзгертеді. 3.1 суретте таза этанның фазалқ күйінің диаграммасы көрсетілген. Осы суреттегі әрбір қисық фазалық өзгеріске сәйкес келеді (температура тұрақты болған жағдайда) және үш учаскеден тұрады. Пунктир сызықтың сол жағындағы кесінді газ фазасына сәйкес келеді, ал горизонталь участке (кесінді) – екіфазалық газ-сұйық облысқа (фазаға), ал сол жақтағы учаске-сұйық фазаға сәйкес келеді. Максимумның (нүкте С) оң жағындағы пунктир сызықтың кесіндісі конденсация қисығының нүктелері (немесе шық түсу нүктелері) деп аталады, ал максимумның сол жағында бу түзілу қисықтары (қайнау қисықтары) орналасқан. Пунктир сызықтың С нүктесінде бу түзілу және конденсатқа айналу қисықтары бір-бірінің үстіне түседі. Бұл аумалы нүкте деп аталады.

Температура мен қысым аумалы нүкте мағыналарына жақындаған сайын газ және сұйық фазаның қасиеттері бір-біріне

ұқсас болады, оларды бөліп тұрған бет жоқ болып кетеді, олардың тығыздығы бірдей болады, Демек, қайнау сызығымен аумалы нүктеге жақындаған сайын сұйық фазаның тығыздығы үздіксіз төмендейді. Егер осы нүктеге конденсация сызығымен жақындасақ , онда будың тығыздығы үздіксіз өседі.

Жеке көмірсутектер үшін сұйық және газ фазасы арасындағы шекаралық қысым ретінде берілген температурадағы будың қысымы қабылданады (конденсация және бу түзілу өтетін қысым).

Көмірсутегі газдары қысым мен температура өзгергенде өзінің көлемін өзгертеді 3.1 суретте таза этан үшін фазалық жағдайды диаграмма түрінде көрсетілген. Тұрақты температура кезінде әр қисық фазалық өзгеріске сәйкес келеді және үш участкасы бар. Сол жақтағы үздік үздік сызықтан кейінгі кесінді газ фазасына, горизонтальды участок – екі фазалы газ сұйық облысына, сол участок – сұйық фазаға сәйкес келеді.



Сурет 3.1- Таза этанның фазалық жағдайының диаграммасы.

Максимумнан оңға қарай үздік үздік сызықтың

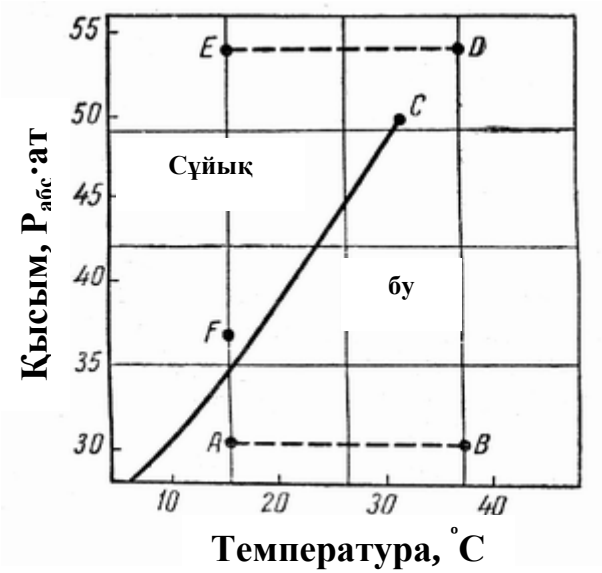
кесіндісіндегі С нүктесін конденсацияның қисаю нүктесі деп атайды, ал максимумнан солға қарай – бу түзілудің қисаю нүктесі. С нүктесінде бу түзілу мен конденсацияның қисық үздік үздік сызықтары қосылады. Бұл нүктені критикалық деп атайды.

Температура мен қысымның жақындауымен сұйық және газ фаза қасиеттерінің критикалық мәні бірдей бола бастайды. Олардың арасындағы бөліктің беті жойылады, олардың тығыздықтары теңеседі.

Жеке көмірсутегілер үшін сұйық және газ фазасы арасындаға шекара қысымы пардың серпімді қысымы болып табылады. Осы негізде конденсация немесе булану жүреді. Берілген температура кезінде жүйеде екі фазада болады, егер қысым сұйықтықтан қаныққан пар серпімділігіне тең болса. Газ конденсацияланатын қысымды газ үшін қаныққан қысым деп атайды.

Көмірсутегінің фазаға айналуын қысым – температура координаттарында көрсетуге болады (сурет 3.2). Бір компонентті жүйе үшін қысым – температура графигінде парға қаныққан қисық қысым бір мезгілде қисық нүктелер бастапқы қайнау және өсу нүктесінің линиясы болып табылады. Басқа қысым мен температура кезінде зат бір фазалық жүйеде болады.

Жеке көмірсутектердің фазалық диаграммасы С критикалық нүктесімен шектеледі (сурет 3.2). Бір компонентті жүйе үшін бұл нүкте қысым мен температураның жоғары мәнімен анықталады. Сондай ақ бірмезгілде екі фаза болуыда мүмкін.



Сурет. 3.2 Т-Р координаттарындағы таза этанның фазалық жағдайының диаграммасы

3.2 суретінен, көмірсутегінің сәйкесінше қысым мен температурасы өзгергенде бу түзілу жағдайынан сұйыққа ауыстыруға болатындығын көруге болады. Газ А нүктесінің параметрлерімен сипатталады (сурет 3.2), В нүктесінің температурасына дейін изобаралық жылытуға болады, одан кейін С критикалық нүктесінен жоғары орналасқан , тұрақты температурада жүйедегі қысымды жоғарылатып Д нүктесінің ауданына затты ауыстыру және әрі қарай Е нүктесінің ауданына ауыстыру қажет. Бұл кезде жүйенің қасиеті үздіксіз өзгереді және көмірсутегінің фазаға бөлінуі болмады. Әрі қарай жүйені салқындатамыз, кейін Ф нүктесіне дейін қысымды төмендету кезінде зат сұйық қасиетіне ие болады. Екі және оданда көп жүйенің фазалық өту заңдылығы күрделі.

Жоғары қайнайтын көмірсутегінің газконденсат кенішінің қанығу деңгейін газконденсат факторының көлемімен анықтайды. Мұнай кен орны үшін газ факторының ($Г^{o}$) аналогиясы бойынша газконденсат факторы **($К^{o}$) туралы** түсінікті конденсатты кеніштер үшін пайдаланады.Газконденсат факторына кері көлемді, конденсаттың шығуы деп атайды. Өнеркәсіпте берілген қысым мен температурада алынған мұнай мен конденсатты шикі деп атайды. Стандарт жағдайындағы стабилизация, дегазация процестерін өткен мұнай мен конденсат **тұрақты** деп аталады.

Бақылау сұрақтары:

1. Кері булану және конденсатқа айналу процестерінің ретоградтық құбылыстары дегеніміз не?
2. Дегазация (сепарация), стандартты жағдайда тұрақтандыру процесін өткен мұнай және конденсат қалай аталады?
3. Берілген температурада және қысымда кеніштен алынған мұнай мен конденсат қалай аталады?

3.2. Мұнай, су және газдағы фазалық ауысулар

Фазалық ауысулар белгілі бір заңдылықтарға бағынады; олардың негізіне фазалар тепе - теңдігі туралы түсінік жатыр. Фаза тепе-теңдігі температура мен қысымға тәуелді; ол тепе-теңдіктің ьұрақтысымен сипатталады.

і-компонентінің фаза тепе - теңдігінің константасы газ

фазадағы (y_i немесе N_{yi}) компонентінің мольдік бөлігінің, осы компоненттің сұйық фазадағы (x_i немесе N_{xi}) мольдік бөлігіне қатынасын сипаттайды (екі фазаның арасында тепе-теңдік орныққан кезде):

$$K_{P_i} = \frac{y_i}{x_i}; \qquad K_{P_i} = \frac{N_{y_i}}{N_{x_i}}. \tag{3.1}$$

Газсұйық қоспасының тепе теңдік жағдайын анықтау үшін Дальтон мен Раульдың заңын қолданады.

Дальтонның заңы бойынша газ фазасына кіретін әр компоненттің парциальды қысымы P_i бар. Ал газ жүйесіндегі жалпы қысым парциальды қысымның қосындысына тең:

$$P = \sum_{i=1}^{n} p_i \tag{3.2}$$

Рауль заңы бойынша сұйық үсті компонентінің парциальды қысымы қаныққан бу қысымына ($P_{нас.\ пара}$) немесе будың серпімдлігіне (Q_i) тең:

$$p_i = N_{xi} \cdot Q_i \quad \text{или} \quad P_i = N_{xi} \cdot P_{i\ ККА\ ..БУ} \tag{3.3}$$

Мұндағы, Q_i – компонент буының серпімділігі;

N_{xi} – компоненттің мольдік бөлігі;

$P_{ККА.\ БУ}$ – і-компонентінің буға қаныққан қысымы.

Тепе теңдік кезінде газ фазасындағы і компонентінің парциальды қысымы сұйық үстіндегі компонентінің парциальдық қысымына тең. Мұнай мен газ фазасының тепе теңдік жағдайы үшін Дальтон – Рауль заңы былай жазылады:

$$N_{yi} \cdot P = N_{xi} \cdot Q_i; \tag{3.4}$$

$$\frac{Q_i}{P} = \frac{N_{yi}}{N_{xi}} = \text{const} = K_{pi}, \tag{3.5}$$

Мұндағы, K_i – і компонентінің тепе теңдік костантасы.

Газ (N_{yi}) және сұйық (N_{xi}) фазаның құрамын материальды

баланс теңдеуінің негізінде анықтауға болады, мұнайгаз қоспасының (N_{zi}) бір молі үшін:

$$N_{zi} = N_{xi} \cdot L + N_{yi} \cdot V = N_{xi} \cdot L + K_{pi} \cdot N_{xi} \cdot V , \qquad (3.6)$$

Мұнда: L – сұйық фазаның мольдік мөлшері;
V – бу фазасының мольдік мөлшері;
N_{zi} –мұнайгаз қоспасындағы компоненттердің мольдік мөлшері.

Шарт бойынша сұйық және пар фазасының мольдік мөлшері бірге тең. Осыдан:

$$V=1–L. \qquad (3.7)$$

(3.6) және (3.7) теңдеуін пайдаланып сұйық фаза компонентінің мольдік мөлшері үшін төмендегі теңдікті аламыз:

$$N_{xi} = \frac{N_{zi}}{L + (1 - L) \cdot k_{pi}} , \qquad (3.8)$$

немесе

$$N_{xi} = \frac{N_{zi}}{1 + V(k_{pi} - 1)} , \qquad (3.9)$$

газ фаза компонентінің мольдік мөлшері үшін:

$$N_{yi} = \frac{N_{zi} \cdot k_{pi}}{1 + V \cdot (k_{pi} - 1)} . \qquad (3.10)$$

Бақылау сұрақтары:

1. Белгілі заңдылықтарға бағынатын фазалық ауысыдар негізіне бағынатын қандай түсініктер жатады.
2. Фаза тепе-теңдігі қандай қандай константамен сипатталады.
3. Газсұйық қоспасы күйін бағалайтын қандай екі заң қолданылады.
4. Газ фазасының және сұйық фазасынң құрамын бағалау мақсатында қандай теңдік негіге алынған.

4. Қабат- су- мұнай- газ жүйесінің беттік- молекулалық қасиеті

Мұнай қабаты шөгінді тау жыныстарынан құралған өте үлкен мөлшерде капилляр каналдар мен жарықшақтардан тұратын және беттік ауданы өте үлкен денелер жиынтығынан тұратын кен орны болып табылады. Сондықтан мұнайдың қабатта қозғалу заңдылығы және оны кеуекті ортадан ығыстырып шығару бір-бірімен жанасатын шекаралық қабаттардың қасиеттеріне және мұнай, газ, судың тау жынысымен жанасатын беттерінде өтетін процестерге тәуелді.

Көмірсутегі кенішінің қалыптасуына кеніштегі қалдық судың (қалдық сумен қанығу, $S_в$) көлемі әсер етеді. Қалдық судың көлемі судың және көмірсутектердің және тау жынысы бетінің табиғиғатына тәуелді. Бет табиғаты деп гидрофльділікті түсінеміз; бұл заттың суды жұқтыру қабылеті. Гидрофильділік- бұл заттың суды жұқтырмау қабылеті.

Фазаларды бөліп тұрған беттің қасиеттері және әрекеттесу заңдылықтары көрсеткіштер қатарымен - фазаларды бөліп тұрған шекрадағы беттік керіліс, жұғу және ағып кету құбылыстарымен, адгезия және когезия жұмысымен, жұғу жылулығымен сипатталады.

Беттік керіліс σ– екі фаза бөлігінің шекарасындағы қабат бетінің бір квадрат сантиметр ауданында жинақталған бос энергияның артық мөлшері. Қабаттағы сұйықтың әртүрлі шекара беттерінде орын алған беттік керілісті біліп жанасатын фазалар қасиеттері туралы, сұйық және қатты дене арасындағы әрекеттесу заңдылықтары, абсорбция процесі, сұйықтағы, капилляр күштердің қарқыны туралы пікір айтуға болады.

Беттік керіліс беттік қабаттағы сұйықтың еркін энергиясы, беттік керіліс күші, және беттік керіліс жұмысы түсініктерімен байланысқан.

Беттік керілісті фазалар арасындағы шекарадағы беттік қабаттың 1 $см^2$ ауданда жиниақталған артық энергия ретінде қарастыруға болады:

$$E = \sigma \cdot s, \qquad (4.1)$$

Мұнда, σ – беттік керілу; м

s – екі фаза бетінің қосындысы.

Беттік керіліліс-бұл екі фаза периметріңің бірлігіне әсер ететін күш:

$$F = \sigma \cdot \ell, \qquad (4.2)$$

Мұнда, ℓ – жұғу сызығы.

Беттік керілу-изотермиялық жағдайда 1 $см^2$ жаңа беттің түзілуіне жұмсалған жұмыс:

$$A = \sigma \cdot s, \qquad (4.3)$$

Беттік керілу коэфициенті σ қысымға, температураға, газ факторына және флюидтердің қасиеттеріне тәуелді.

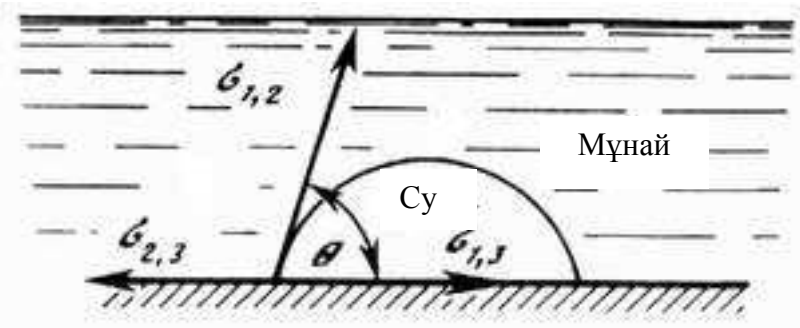
Шекараны бөліп тұрған екі сұйық, газ және сұйық арасындағы беттік кернеуді өлшеуге болатын болсын делік; олай болса тау жынысы-сұйық және тау жынысы-газ шекаралық қабаттарында беттік кернеуді өлшеу қиын. Сондықтан тау жынысы – сұйықтық шекарасындағы беттік құбылыстары зерттеу мақсатында беттік құбылыстарды зерттеудің жанама әдестерін: адгезия және когезия жұмыстарын өлшеу, жұғу және дене бетімен сұйықтың ағу құбылысын зерттеу, жұғу жылуын зерттеуді пайдаланады.

Жұғу дегеніміз ұш фазаның жанасу бетінде орын алған құбылыстар жиынтығын айтады.

Дене бетіне сұйық жақсы жұғатын болсын делік; олай болса сұйық тамшысының дене бетімен ағу мүмкіндігі бар. Дене бетіне сұйық жұқпайтын болсын делік; олай болса сұйық тамшысы дене бетімен ақпайды.

Жұғу қарқыны шеттік жұғу бұрышымен, яғни қатты дене беті және сұйық беті мен
дененің жанасу нүтесінен сұйық бетіне жүргізілген жанамамен **θ** сипатталады (сурет 4.1).

Жұғу қарқыны **θ** полярлы фазаға қарай өлшенеді (қарастырылып отырған жағдайда су жағына қарай). Цифра1 су фазасын, цифрмен 2 көмірсутек немесе газ, ал цифрмен 3 қатты дене фазасын белгілейді.



Сурет 4.1- Түйісетін фазалардың әртүрлі шекарасындағы беттік керілумен шарттастырылған тамшының пішіні.

Шеткі бұрыш термодинамикалық тепе-теңдікке жауап береді деп болжап, бірінші рет Юнг алған теңдеуге ие боламыз:

$$\sigma_{2,3} = \sigma_{3,1} + \sigma_{1,2} \cdot \cos\Theta, \qquad (4.3)$$

шеткі бұрышқа Θ арналған өрнекті аламыз:

$$\cos\Theta = \frac{\sigma_{3,2} - \sigma_{3,1}}{\sigma_{1,2}}. \qquad (4.4)$$

Егер $\sigma_{23} > \sigma_{13}$, онда $0 < \cos\Theta < 1$, бұрыш Θ – сүйір, ал дене беті – гидрофильді.

Егер $\sigma_{23} > \sigma_{13}$, онда $-1 < \cos\Theta < 0$, бұрыш Θ – доғал , ал дене беті – гидрофобты.

Ауысулар бар беттер (амфотерлі), олар полярлы немесе полярлы емес жүйелермен жақсы жұғады.

Гидрофильді беттерге жататындар: силикаттар, карбонаттар, темір тотықтары. Гидрофобты беттерге жататындар: парафиндер, майлар, восктар, таза металдар.

Жұғудың шеткі бұрышы беттің құрылымына, сұйық пен газды адсорбциялауға, қысымға, беттік активті дененің қатысуына, температураға, қысымға, электр зарядына тәуелді.

Беттік құбылыстады адгезия жұмысымен сипаттайды.

Адгезия дегеніміз-бұл әр түрлі денелер беттерінің арасындағы байланыс немесе әрекеттесу. Осындай байланысты бұзу мақсатында сырттан әсер ететін белгілі күш қажет. Адгезия орыс сөзінің «приплипание- жабысу» синонимі болып табылады.

Ұсақ бөлшектер мен қатты дене арасындағы және сұйық пен қатты дене арасындағы адгезияны ажырата білу қажет; сонымен қатар жұқа пленка мен беткі қабат адгезисын білу қажет. Пленка мен беткі қабат адгезиясы–қатты беттердің осы беттегі пленкамен жанасқанда пайда болатын құбылыс.

Пленка дегеніміз материалдардың жұқа қабаты; жұқа қабат әр түрлі мақсаттарда қолданылады, мәселен, денені орау (**упаковка),** изоляция, денеге декоративтік қасиет беру және с.с. Беткі қабат-жұқа қабаттар, мәселен, белгілі қасиеттер беру мақсатында, қоршаған ортадан изоляция жасау мақсатында, негіздің бетіне салынған бояудың немесе металдың қабаты.

Когезия – әртектес денелердің беттік ілінісу құбылысы, молекулааралық немесе химиялық өзара әсерлесумен шарттастырылғын.

Адгезия жұмысын Дюпре теңдеуімен бағалайды:

$$W_a = \sigma_{1,2} + \sigma_{2,3} + \sigma_{1,3}. \qquad (4.5)$$

(4.3) және (4.5) қатынасын пайдаланып , Дюпре-Юнг теңдеуін аламыз:

$$W_a = \sigma_{1,2}(1+\cos\Theta). \qquad (4.6)$$

Қатынастан:

$$\sigma_{2,3} - \sigma_{1,3} = \sigma_{1,2}\cos\Theta \qquad (4.7)$$

Жұғу кезінде қатты дененің бірлік бетіндегі еркін энергия шамаға $\sigma_{1,2}\cos\Theta$ азаяды, мұны жұғу кернеуі деп атайды.

Когезияның жұмысы $W_к$ денені бөліп тұрған беттегі энергетикалық өзгерістерді сипаттайды.

Сұйықты қатты дене бетінен жұлып (жұғу толық болған кезде, демек cosө=0) алу үшін, демек екі сұйық бетті түзуге $2\sigma_{жг}$ қажет жұмысқа $W_к = 2\sigma_ж$ жұмсалады. Мұнда, $2\sigma_{жг}$ - газ шекарасындағы сұйықтың беттік керілуі. ;

(4.6) теңдеуінен, толық ылғалдау кезінде қатты дене бетінен сұйықтың үзілуіне жұмыс шығындалады, екі сұйық беттің түзілуі үшін –, яғни $W_к = 2\sigma_{жг}$ мұнда, $2\sigma_{жг}$ - газ шекарасындағы

сұйықтың беттік керілуі.

Бұл мынаны білдіреді: сұйық толық жұққан кезде қатты дене бетінен сұйық үзілмейді, демек сұйық толық жұққан кезде $\sigma_{1,2} \leq \sigma_{1,3}$.

Адгезия мен когезия жұмысының мәнін Юнга теңдеуіне қойып, аламыз:

$$\cos\Theta = \frac{2W_а - W_к}{W_к} \qquad (4.8).$$

Осы теңдеуден мынаны аңғаруға болады: когезия жұмысы аз болған сайын сұйықтың қатты денеге жұғуы жақсарады.

Сұйықтың жұғу қасиетін сипаттау мақсатында салыстырмалы адгезия жұмысын $z = W_a/W_к$ пайдаланады.

Тағы бір сипаттама, беттік құбылысты сипаттау мақсатында – жұғу жылулығын пайдаланады.

Қатты денені сұйықтықпен ылғалдау кезінде жылудың бөлінетіндігі байқалған. Себеп: қатты дене-сұйық шекарасында қатты дене-газ шекарасымен салыстырғанда полярлық айырым аз.

Кеуекті және ұнтақ үлгідегі денелер үшін ылғалдау жылулығы 1 ден 125 кДж/кг аралығында өзгереді және қатты дененің дисперсиялық деңгейімен және сұйықтықтың полярлығына тәуелді.

Жұғу жылулығы қатты дененің диспертік дәрежесіне және оның бетінің табиғатын сипаттайды. Қатты бетке сұйық жұққан кезде жылудың көп мөлшері бөлінеді.

Егер q_1 арқылы сумен ылғалдаудың меншікті жылулығын, q_2 арқылы мұнаймен ылғалдаудың меншікті жылулығын белгілеміз; олай болса гидрофильді беттер үшін келесі қатынас орындалады: $(q_1/ q_2)>1$, ал гидрофобты беттер үшін үшін: $(q_1/q_2)<1$.

Ылғалдау құбылысы жүйенің тепе теңдік жағдайы үшін қарастырылды. Қабат жағдайында тұрақты емес, яғни фаза бөлігінің бетінде өтіп жатқан орнықпаған процестер байқалады. Сумен мұнайды ығыстыру кезінде қозғалатын үшфазалы жұғу периметрі түзіледі.

Жұғу бұрышы жылдамдыққа, сұйықтың каналдар мнт

жарықшақтарда қозғалу бағытына байланысты өзгереді.

Жұғудың кинетикалық гистерезисі деп қатты бет арқылы үш фазалы жұғу периметрі қозғалған кездегі жұғу бұрышының өзгеруін айтады.

Гистерезистің шамасы мыналарға тәуелді:

- жұғу периметрінің қозғалу бағытына;
- қатты дене бетінің кедір-бұдырлығына;
- заттың бетіндегі адсорбцияға.

Гистерезис құбылысы негізінен кедір-бұдыр беттерде пайда болады және оған табиғи молекулалық табиғат тән.

Бақылау сұрақтары:

1. Мұнай қабаты дегеніміз не.
2. Кеніштегі фазалардың беттік керілуі.
3. Беттік керілу коэффициенті қандай параметрге тәуелді.
4. Жұғу дегеніміз не.
5. Шеткі жұғу бұрышы дегеніміз не.
6. Жұғу дегеніміз не.
7. Гидрофобты беттер.
8. Шеттік жұғу бұрышы қандай параметрге тәуелді.
9. Адгезия және когезия дегеніміз не.
10. Адгезия жұмысы қандай теңдікпен анықталады.
11. Жұғудың кинетикалық гистерезисі.
12. Жұғу кернеуі.
13. Когезия жұмысы.
14. Жұғу жылулығы.
15. Жұғу бұрышы.

5 Кеуек ортадан мұнайды, конденсатты және газды ығыстырып шығарудың физикалық негіздері

5.1. Қабат энергиясының көздері

Қабаттан сұйық пен газды ұңғымаға ағып келуі күштердің әсерінен іске асырылады; осы күштердің табиғатына және шамасына қабатттағы энергиялардың түрлері және қорлары әсер етеді. Кеніш орналасқан районның құрылымы мен кеніштің геологиялық құрылымына байланысты мұнай, газ және судың ұңғымаға қарай бағытталған ағыны мынадай күштердің әсерінен іске асады:

1) шеттік судың арынымен;
2) газ шапкасында сығылған газдың арынымен;
3) мұнай мен суда еріген газдың энергиясымен; қысым құлаған кезде мұнай мен судан еріген газ бөлініп шығады;
4) сығылған тау жыныстарының серпімділігімен;
5) гравитациялық энергиямен.

Энергия тудыратындардың түрлеріне байланысты кеніштің жұмыс істеу режимі туралы түсінік енгізілді: суарынды, газ арынды, еріген газ режимі, серпімді, гравитациялық және аралас.

Газ кенорындарында, сонымен бірге мұнай кеніштеріндегі суарынды режим белсенді шеттік сулардың көптігінен немесе қабатқа жасанды түрде суды айдау кезінде пайда болады. Кеніштің газ режимі немесе еріген газ режимінің энергия көзі - сығылған газдың энергиясы болып табылады; осындай жағдайда қабат суы белсенді бола алмайды.

Қабат энергиясының қоры сұйықтарды және газдарды ұңғыма табанына жылжытқанда тұтқыр үйкелісті, капиллярлық жән адгезиялық күштерді жеңуге жұмсалады.

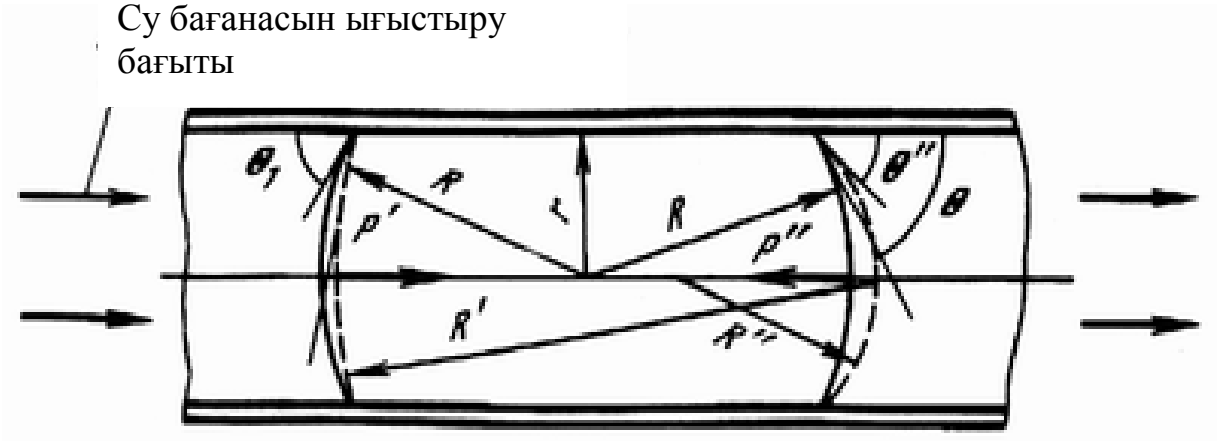
Бақылау сұрақтары:

1. Мұнай, су және газдың ұңғымаға алып келуі қандай күштердәі әсернен іске асырылады.
2. Кен орындарының жұмыс істеу режимдері.
3. Газ режимінің пайда болуы.

5.2. Кеніштегі күштер

Кеуек ортадағы сұйық қозғалысының гидравликалық

кедергісі сұйықтың тұтқырлығы мен ағын жылдамдығына пропорционал. Бұл кедергілер құбыр арқылы сұйық қозғалған кездегі үйкеліс кедергісіне ұқсас. Бірақ сұйықтың құбырдағы қозғалысымен салыстырғанда сұйықтың біртекті емес микрокеуектермен жылжуының өзіндік ерекшеліктері бар. Кеуекті ортада мұнай мен су қозғалысын бақылау нәтижесі бойынша сумұнай жанасу ауданында фазалар жеке-жеке қозғалмайды, оның орнына су мен мұнай қоспасы жылжыйтындығы белгілі болды. Капилляр каналдардағы сұйықтар шариктер мен бағаналарға бөлінеді, капилляр күштердің әсерінен қабаттағы кеуек каналдар жабылып қалады. Мұндай қоспаның түзілуі жеке капиллярлар да орын алды. Сумұнай қозғалысы кезінде капиллярлы күштердің пайда болу механизмін түсіну үшін, сумен толытырылған цилиндр капиллярда мұнай бағанасының жылжу шартын қарастырамыз (сурет 5.1).



Сурет 5.1- Мұнай тамшысының капиллярмен қозғалған кездегі деформациялану сұлбасы.

Капиллярлы күштің әсерінен мұнай бағанасы шар тәрізді пішінді қабылдауға тырысады; капилляр қабырғасы мен мұнай бағанасы арасындағы су қабыршағына қысым Р әсер етеді:

$$P = \frac{2\sigma}{R} - \frac{\sigma}{r}, \qquad (5.1)$$

Мұнда: σ – су-мұнай шекарасындаға беттік керілу; R- мұнай бағанасындағы сфералық бетінің радиусы; r- мұнай бағанасындағы цилиндрлік бетінің радиусы.

Менискіде пайда болатын қысымның әсерінен мұнай бағанасы мен капилляр қабырғасын бөліп тұрған қабаттан сұйық алып кетіледі; бұл құбылыс жұқа қабат тепе-теңдік күйге жеткенше жалғасады. Осы қабатқа аномальдік қасиет тән, мәселен, тұтқырлық жоғарылайды, сондықтан олар қозғалмайды. Демек, капиллярдағы мұнай қабаты қозғалысы басталған кезде мұнайдың капилляр қабырғасына әсер етуінен үйкеліс күші пайда болады. Мұнай бағанасы орнынан қозғалмай тұрып, фазалар шекарасындағы менискілер деформацияланады; сөйтіп пунктир сызықпен көрсетілген орынды қабылдайды.

Менискілер әсерінен пайда болған қысым айырымы сыртқы қыым айырымына қарсы әсер ететін; оны капилляр қысымы деп атайды:

$$P_c = \frac{2\sigma}{r}(\cos\Theta'' - \cos\Theta'). \qquad (5.2)$$

Бұл құбылысты біріші рет Жамен зерттеді, осы құбылыс Жамен эффектісі деп аталады.

Газсумұнай қоспасы кеуек ортада қозғалған кезде Жамен эффектісі пайда болады. Кеуек ортада бағаналар көп мөлшерде пайда болады, сөйтіп капиллярлық күштерді жеңуге қабат энергиясының елеулі бөлігі жұмсалады. Капиллярлық күштер фазалардың өткізгіштігін төмендетуге алып келеді.

Кеуекті ортада сумұнай қоспасы капиллярдың әртүрлі қимасы арқылы қозғалады; осының әсерінен тамшылар деформацияланады. Мұнай, су немесе газ каналдың кең бөлігінен тар бөлігіне өткен кезде, демек, менискілердің қисық радиусы тепе-тең емес жағдайда қосымша қарама-қарсы қысым пайда болады.

Бақылау сұрақтары:

1. Кеуек ортамен қозғалған кезде гидравликалық кедергі неге тең.
2. Кпиллярлық құбылысты түсіндір.
3. Капиллярлық күштер нені арттырады.
4. Жамен эффектісін түсіндір.

5.3 Қабат сұйығын фильтрациялау кезіндегі беттік құбылыс және Дарси заңының бұзылу себептері

Кеуекті ортада өтетін сұйықтар мен газдардың фильтрация заңдылықтарына тек қана мұнай, су және газ арасын бөліп тұрған шекаралар ғана әсер етпейді, сонымен қатар қатты дене-сұйық арасында орын алатын беттік құбылыстар әсер етеді. Фильтрация жылдамдығының төмендеуі мұнайдың беттік активті компонентерінің адсорбцияланған қатпарларды химиялық нығыздаумен байланысты, мәселен,минералды түйіршіктердің белсенді, қышқыл типті, беттерінде.

Осындай жағдайларда, уақыт өткен сайын, фильтрация қарқыны үздіксіз бәсеңдейді; коллойдты қабаттың өсуіне байланысты кеуек каналдар бітеліп қалады.

Мұнай фильтрациясының бәсеңдеуі қысым айырымының жоғарылауымен және температура 60-б5°С дейін көтерілгенде жоқ болып кетеді. Депрессия өсіп, кейбір шекке жеткен кезде, адсорбцияланған-сольваттық қабаттар жұлынып кетеді. Бұл көмірсутекті сұйықтардың кеуек ортада фильтрациялану режимінің, демек, Дарси заңының бұзылуының бір себебі болып табылады.

Қабатта шайыр мен парафин шөгінділерінің түзілуімен ұңғымалар дебиті төмендейді; мұнымен күресу үшін түптік зонаны қыздырады немесе түпті қандайда бір затпен өңдейді.

Дарси заңының басқа бұзылу себептеріне сұйықтың аномальды қасиеттерін жатқызуға болады; бұл сұйықтың Ньютонның үйкеліс заңынан ауытқуымен байланысты болуы мүмкін.

Бақылау сұрақтары:

1. Ильтраия жылдамдығының төмедеуіне не әсер етеді.
2. Кеуек ортада сұйық пен газдың сүзу заңдылықтары.
3. Дар заңының бұзылу себептері.

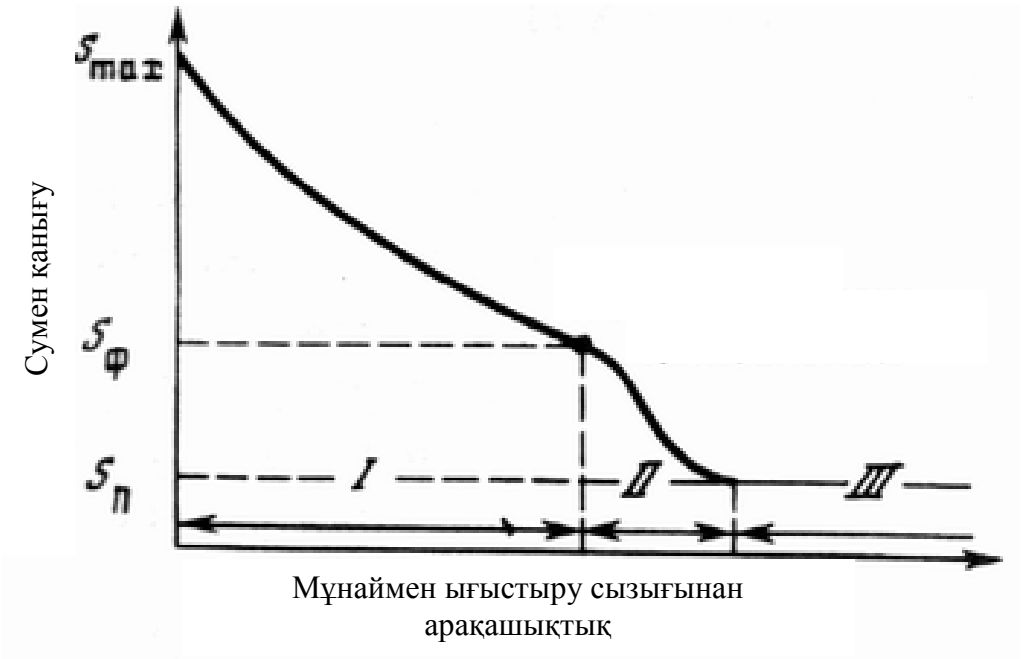
5.4 Қабаттан мұнайды газ ненмесе сумен ығыстырудың жалпы сұлбасы

Табиғи жағдайда, яғни арынды режимде игеріліп жатқан кеніштер кең таралған. Осындай кеніштерден мұнай сыртқы

агенттермен ығыстырылып (айдау суымен, газ шапкасындағы еркін газбен немесе жер бетінен қабатқа айдаған газбен) шығарылады.

Мұнай және ығыстырып шығаратын агент бір мезгілде кеуек ортада қозғалады. Бірақ мұнайды осындай агенттермен толық айдап шығу мүмкін емес; оның себебі мынада: газ немесе су мұнайға поршень тәрізді әсер етпейді. Кеуектердің өлшемі (капиллярдың радиусы) біркелкі емес, демек, ығыстырып шығаратын тұтқырлығы төмен сұйық немесе газ мұнайдың алдына түсіп кетеді. Демек, мұнайдың және выгыстырып шығаратын агенттің эффекивті өткізгіштігі үздіксіз өзгерісте болады.

Сумен қанығу өскен сайын, мәселен 50-60% дейін, судың ағындағы мөлшері артады; оның себебі тау жынысының суды эффективті өткізу қабылеті артады. Осындай жағдайда мұнай кеуектерден ығстырып шығарылмайды, демек, ол судың шапшыған ағынымен алып кетіледі. Сонымен қабат ұзындығында суға қаныққан бірнеше зона пайда болады. Қабат ұзындығында сумен қанығудың өзгеруінің типтік суреті 5.2 суретте көрсетілген. Бұл сұлбаны зерттеушілер капиллярлық және гидродинамикалық күштердің біріккен нәтижесі деп қарастырады.



Сурет 5.2- Мұнайды сумен ығыстыру кезіндегі, қабат ұзындығы бойынша мұнайсуқаныққандығының өзгерісі

Қабаттың суға қаныққандығы максимальды мәннен S_{max} жер астындағы судың қанығу мағынасна дейін төмендейді. Осындай жағдайда қабатта үш зонаны байқауға болады; біріншісінде сумен қанығу S_{max} –нан $S_ф$ дейін өзгереді. Осы учаске қабаттың сумұнай қоспасын сипаттайды.

Екінші участок (зона II) аралық зона, тұрақталған зона. Оның ұзындығы бірнеше метрге жетеді.

Қабаттан мұнайды газбен ығыстырғанда осыған ұқсас жағдай қалыптасады.

Газ шапкасындағы еркін газды есепке алмасақ мұнай қабаттан ерітіндіден шығатын газбен ығыстырылып шығарылады. Кейбір жағдайларда еріген газ кеніштегі энергия көздерінің тек қана біреуі болып табылады.

Мұнайда еріген гздың энергиясы мынадай жағдайда, демек, кеніштегі қысым мұнайдың газбен қанығу қысымынан төмен болған кезде өзін көрсете бастайды. Қысым төмендеген жағдайды қарастырамыз: бастапқы кезде еркін газ қатты дене бетінен шығады; оның себебі мынада: қабырға бетінде көпіршіктедің пайда болуына жұмсалған энергия сұйықтың еркін көлемінде пайда болатын көпіршіктрге жұмсалатын энергиядан кем. Көпіршіктер пайда болғаннан кейін құрылымның газбен қанығуы артады.

Бастапқы кезде газ көпіршіктері бір-бірінен алыста орналасады; олар жайлап кеңейгеннен кейін, газбен қаныққан учаскелер бір-бірімен қосылып кетеді. Көпіршіктер пайда болғаннан кейін олар қабаттан мұнайды (кеуек көлемде орналасқан) ығыстырып шығарады. Осындай тиімді ығыстыру процесі газбен қаныққан учаске пайда болғанша жүре береді.

Газ тұтқырлығының аздығы мынаған алып келеді: мұнаймен салыстырғанда газ ұңғыма табанына қарай тезірек жылжиды.

Бақылау сұрақтары:

1. Қабаттың сумен қанығуына кері әсер ететіндер.
2. Құрылымның газбен қанығуына оң әсер ететін параметрлер.
3. Мұнайды газбен ығыстырып шығарудың төмендеу себептері.
4. Кеніштің ауыспалы учаскесіндегі мұнаймен және сумен қанығу коэффициенттері.

5.5. Кеніштi әртүрлi жағдайда дренаждау кезiндегi қабаттың мұнайбергiштiгi

Қабаттың мұнайбергіштік коэффициенті деп қабаттың бастапқы мұнаймен қаныққандығы және соңғы мұнаймен қаныққандығының айырымының бастапқы мұнаймен қаныққандығына қатынасын айтады.

Қазіргі заман мұнай өндіру техникасы мен технологиясының даму деңгейінде физикалық тұрғыдан мүмкін болатын мұнайбергіштік коэффициенті бірден елеулі төмен. Ұңғыма орналасқан сетка тығыз, ал су факторлары айтарлықтай болса да, кеніштің мұнайбергіштігі 70-80% аспайды.

Мұнайбергіштік пайдаланып жатқан энергияның түріне тәуелді. Сумен мұнайды ығыстыру жағдайында оның ең үлкен мағынасы байқалған. Мұнайбергіштік мұнайда еріген және газ шапкасында сығылған, еркін газдың энергия қорымен салыстырғанда шексіз болатын шеттік судың үлкен энергия қорымен байланысты.

Бұл кеуекті сумен жуу тиімділігімен түсіндіріледі, су мен мұнай тұтқырлығының арақатынасы сумен мұнайды ығыстыру кезінде газға қарағанда жақсы. Сонымен сумен мұнайды ығыстыру кезінде мұнайбергіштіктің жоғарылауына жыныс пен мұнайдың сумен физикалық- химиялық әрекеттесуі оң жағдай туғызуы мүмкін. Газбен салыстырғанда судың ығыстыру және жуу қабылеті жоғары.

Ерітіндіден бөлініп шыққан газбен мұнайды ығыстыру тиімділігі қабат энергиясының басқа түрімен салыстырғанда төмен. Бұл мынамен түсіндіріледі: қабатта газдың көлемі шектелген және мұнай мен газ тұтқырлығының арақатынасы үлкен емес. Мұнай мен газ тұтқырлығының арақатынасы ұңғымаға газдың тез келуіне себеп болады. Газ қабат жыныстарына жұқпайтын фаза болып табылады. Ал бұл қалдық мұнай мөлшерінің артуына оң ықпал етеді. Бастапқыда қабаттан мұнайды ығыстыру тиімді болады. Газ шапкасы кеңейуі тиімділігінің төмендеуі газ қатты фазаға жұқпайтындығымен және газдың тұтқырлығы төмен екендігімен түсіндіріледі.

Газ шапкасы бар кеніштердің мұнайбергіштігіне қабат еңкіштігінің бұрышы елеулі әсер етеді.

Қабат еңкіштігі күрт артқан кезде газдың мұнайдан гравитациялық бөлінуі жақсарады және мұнайды газбен

ығыстыру тиімділігі артады.

Табиғи коллектордағы мұнайбергіштіктің төмен болуы қабат құрылымының микро- және макробіртексіздігімен түсіндіріледі. Кеуекті кеңістіктің микробіртексіздігі және күрделі құрылымы – жеке каналдар бойынша су мен газдың келуіне, кеуек ортада сумұнайгаз қоспасының түзілуіне себепші болады. Қабатта араласпайтын әртүрлі фазалардың бірге қозғалуы күрделі процесс, мұнда капиллярлы күштер мұнайды судың «поршенді» ығыстыруымен салыстырғанда елеулі артық.

Өзара еритін сұйықтарды ығыстыру жоғары мұнайбергіштікпен сипатталады.

Судың тұтқырлығымен салыстырғанда мұнайдың жоғары тұтқырлығы мұнайбергіштіктің азаюына әкеледі. Мұнай тұтқырлығының жоғарлауын зерттеу нәтижелері бойынша жыныстың әртүрлі біртексіз физикалық қасиеттері пайда болады, бұл нашар шайылған учаскелердің пайда болуына алып келеді.

Қабаттың мұнайбергіштігіне жыныстың меншікті беті елеулі әсер етеді. Мұнай қатты фазаң бетін гидрофобтайды, және қабыршақ күйдегі мұнайдың бөлігін арнайы әсер ететін әдістермен қабаттан алып кетуге болады.

Қабаттың макробіртексіз құрылымы – қабаттан мұнайдың толық шықпауының себебі болып табылады. Құрылымның біртексіздігі, жыныстың қасиеті мен құрамы сумен шайылмайтын және газбен әлзіз дренаждалатын зоналардың пайда болуымен түсіндіріледі.

Газбен жай дренаждалатын және сумен шайылмайтын зоналардың пайда болуымен түсіндіріледі. Сондай ақ, мұнайбергіштік кеуекті ортаның қасиетіне және су және газбен мұнайды ығыстыру шарттарымен (мұнай мен жыныстың физика химиялық қасиеті мен құрамы, ығыстыру жылдамдығы) байланысты. Сондай ақ, мұнайбергіштік кеуекті ортаның қасиетіне және су және газбен мұнайды ығыстыру шарттарымен (мұнай мен тау жынысының физикалық-химиялық қасиеті мен құрамы, ығыстыру жылдамдығы) байланысты.

Қабаттан мұнайдың толық шықпау себептерін еске алып, қабат түрлернде кездесетін қалдық мұнайды келесідей бөледі:

1) капиллярлармен ұстап қалған мұнай;
2) қатты фазаның бетін жауып тұратын қабыршақ күйдегі

мұнай;
3) сумен нашар шайылған, өткізгіштігі аз учаскелердегі қалдық мұнай;
4) ұңғымамен ашылмаған және қабаттан өткізбейтін бөгеттермен бөлінген линзадағы мұнай;
5) жергілікті өткізбейтін экрандарда қалып кеткен мұнай.

Қабыршақты мұнай қабаттағы қатты фазаның бетін жұқа жұғатын қабыршақпен жабады. Осы мұнайдың мөлшері қатты және сұйық фазалардың молекулалық күштерінің қозғалу радиусымен, минералдың беттік құрылымымен және жыныстың меншікті бетінің өлшемімен анықталады. Сұйықтың жұқа қатпарларының өлшемдері, сонымен бірге кеуек ортадағы қалдық судың таралуын зерттеу қабыршақ жағдайындағы қалдық мұнайдың көлемі нақты жағдайда капиллярлармен ұстап қалынған қалдық мұнайдың көлемінен бірнеше есе аз екендігін көрсетті.

Қабыршақтағы және капиллярлымен ұстап қалынған мұнайдан басқа, нашар шайылған участоктарда, сонымен бірге линзамен айырылған, тупиктерде, өткізбейтін экрандар мен бөгеттерде мұнайдың үлкен көлемі қалуы мүмкін.

Мұнайбергіштік коэффициентінің үлкен емес мәндері табиғи коллекторларда мұнай көлемінің көптігін көрсетеді.

Жоғарыда айтылғандай суарынды режим ең тиімді режим болып табылады, сондықтанда қабаттың мұнайбергіштігін жоғарылату мақсатында мұнай кенішін игеру кезінде сумен мұнайды ығыстырудың табиғи немесе жасанды режимін сақтап қалуға тырысу керек. Су айдау технологиясы сумен мұнайды ығыстыру жағдайын қамтитын процесстің параметрлерімен жақсартылуы мүмкін. Кенішке су айдау кезінде қабатқа су айдау режимін, мұнай мен су шекарасында судың беттік керілуін, тұтқырлығын және температурасын өзгертуге болады.

Бақылау сұрақтары:

1. Мұнайбергіштік коэффициентін қалай түсінесіз.
2. Мұнайбергіштік пен пайдаланылатын энергияның арасындағы тәуелділік.
3. Газ шапкасы бар кеніштер мұнайбергіштігіне елеулі әсер ететіндер.
4. Табиғи коллекторлардың төмен мұнайбергіштігін

түсіндіріңіз.

5. Мұнай қабатының толық емес мұнайбергіштігінің себептерін түсіндіріңіз.

5.6 Кеуекті ортадан сумен мұнайды ығыстыру кезіндегі капиллярлы процестердің рөлі

Құрамында мұнайы бар жыныстардың кеуекті кеңістігі капиллярлы каналдардың үлкен жиынтығын құрайды. Осы капиллярлар арқылы араласпайтын сұйықтар қозғалады; фазаларды бөліп тұратын бетте менискілер пайда болады. Сондықтан капиллярлы күштер мұнайды ығыстыру процесіне әсер етеді.

Сумұнай жанасуының ар жағында менискілер көптеген Жамен эффектісін құрады, демек, мұнайды ығыстыру процесіне қарсылық көрсетеді. Орта гидрофильді делік; олай болса сумұнай жанасу облысында менискілердің әсерінен өсетін қысым капиллярлық сіңіру және сұйықтың таралу процесін тудырады. Бұл кеуектер өлшем бойынша біртекті еместігімен түсіндіріледі. Қимасы аз каналда пайда болған капиллярлық қысым үлкен каналда пайда болған қысымнан жоғары. Осының нәтижесінде су ұсақ каналдармен мұнай қабатына өтеді, ал ірі каналдармен мұнай су облысына ығыстырылады.

Айта кету керек: капиллярлық күштерді арттыру немесе азайту және бақа сумен мұнайды ығыстыру есептерінің нақты бір шешімі жоқ.

Бақылау сұрақтары:

1. Кеуек орта көлемі.
2. Мұнайбергіштікті азайтуға алып келетін белгілер.
3. Кенішке суды айдағанда мұнайбергіштікті жарықшақты коллекторларда арттыратын күштер.

5.7 Мұнайбергіштіктің сумен мұнайды ығыстыру жылдамдығына тәуелділігі

Осы проблемаға арналған көптеген зерттеулерді талдау нәтижелері қабат жүйесіндегі капиллярлық қасиеттер мен мұнайды ығыстырып шығару жылдамдығының және

мұнайбергіштік сипаттың арасында тәуелділік бар екендігін көрсетті.

Сумұнай жанасу беті жылдамдығы артқан сайын мұнайбетгіштік артады, ал капиллярлы күштер әлсіз болған сайын, жыныстардың өткізгіштігі>1-2 мкм^2, сумен мұнайды ығыстырып шығару жылдамдығы мұнайбетгіштікке әсер етпейді.

Практикада қабат құрылымы мен жыныстардың біртексіз деңгейі бойынша әртүрлі мұнай кеніштері жиі кездеседі.

Депрессияның жоғарылауы кезінде мұнай аз берген қабатта, қабаттың қосымша учаскелерінде қысым таралады; ағынның геометриясы өзгереді. Нақты жағдайда қабаттың физикалық-химиялық қасиетінен тәуелсіз мұнайбергіштік коэффициенті әртүрлі болуы мүмкін.

Кеніштегі қысым градиентін арттыру кеніштің мұнай бергіштігіне оң ықпал етеді.

Бақылау сұрақтары:

1. Кеніштің мұнайбергіштігін арттыру факторлары.
2. Мұнайды сумен ығыстырып шығару жылдамдығының мұнайбергіштікке әсері.
3. Мұнайбергіштікке мұнай кенішіндегі қысым градиентінің әсері.
4. Капиллярларда өтетін процестердің мұнайды сумен ығыстырып шығарудағы атқаратын рөлі.
5. Мұнайбергіштікті арттыру тәсілдерінің физикалық негізі қандай.

Қорытынды

Қабат физикасы-тау жыныстарының, мұнай және газ коллекторларының, қабат сұйықтарының, газдың және газконденсат қоспасының физикалық қасиеттерін; оларды талдау тәсілдерін, сонымен қатар қабаттардың мұнайбергіштігін және газбергіштігін арттырудың физикалық негізін зерттейтін ғылым.

Соңғы жылдары Қазақстанда әрбір қабат жынысының, қабат сұйығы мен газының физикалық қасиеттерін терең зерттемей тұрып кенішті игеруді бастамайды; осы сұрақтарды шешіп алмай мұнай және газ кенішін ғылыми негізделген деңгейде игеру мүмкін емес.

Мұнай, газ және газконденсат кен орындрын пайдалану сұйықтар мен газдардың ірі көлемінің кеуек ортада ұңғыма табанына қарай бағытталған сүзілуімен (фильтрация) байланысқан. Сүзілу заңдылықтары кеуек ортаның, қабат сұйықтарының, газдың және судың қасиеттеріне, ұңғыманың дебитіне, коллекторлардың өнімділігіне тәуелді.

Кен орындарын пайдалану барысында мұнай, су және газдың қабатта орналасуы өзгереді. Бұл жыныстың, қабат сұйығының, газдың және газконденсат қоспасының елеулі өзгерістерге ұшырауымен түсіндіріледі. Сондықтан оқу құралында осы қасиеттер динамикада, демек, қабат қысымының, температурасының өзгеруімен және басқа шарттарға тәуелді кезеңдерді есепке алып қарастырылған.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Оркин Г. К., Кучинский П. К. Физика нефтяного пласта. - М.: Гостоптехиздат, 1955. - 299 с.
2. Амикс Дж. и др. Физика нефтяного пласта. - М.: Гостоптехиздат, 1962. - 572 с.
3. Гиматудинов Ш. К. и др. Физика нефтяного и газового пласта. - М.: Недра, 1982. - 312 с.
4. Романков П.Г., Рашковская Н.Б:, Фролов В.Ф. Массообменные процессы химической технологии. Л., 1975.- 335 с.
5. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. - М.: Недра, 1978,- 390с.
6. Ермилов О. М., Ремизов В. В., Ширковский Л. И., Чугунов Л.С. Физика пласта, добыча и подземное хранение газа.- М.: Наука, 1996. - 541 с.
7. Варфоломеев Д. Ф., Хамаев В. Х. Химия нефти и газа. – Уфа, 1977. – 61 с.
8. Зимон А. Д. Адгезия пленок и покрытий, М., 1977.-352 с.
9. Нифонтов Ю.А., Клещенко И.И. Ремонт нефтяных и газовых скважин, Частт I, Санкт-Петербург, 2009.- 914 с.
10. Михайлов Н.Н. Остаточное нефтенасыщение разрабатываемых пластов. - М.: Недра, 1992,- 270с.
11. Михайлов Н.Н. Информационно- технологическая геодинамика околоскважинных зон. - М.: Недра, 1996,- 370с.
12. Фролов В.Ф. «Лекции по курсу процессы и аппараты химической технологии». Санкт-Петербург. 2003.- 608 с.
13. Физика пласта. Конспект лекций [Электронный ресурс]/ А.С.Колесников; Кафедра "Нефтегазовое дело". - Электрон. текстовые дан. (12 МБ). - Шымкент: ЮКГУ, 2011. - эл. опт. диск (CD-ROM).
14. Колесников А.С. Физика пласта/Учебное пособие.-Шымкент: Южно-Казахстанский университет им. М.Ауезова, 2011. 96с.
15. Ақынбеков Е.Қ. Жылу техникасы негіздері. Алматы. 2012.- 280 бет.
16. Колесников А.С. Физика пласта. Электронный учебник-Шымкент. ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2013, 47Мб.

АҚЫНБЕКОВ ЕРКІНБЕК ҚАМБАРҰЛЫ
КОЛЕСНИКОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
ОРЫНБАЕВА ЖАНАР РЫМБЕККЫЗЫ

ЖЕР ЖӘНЕ МҰНАЙ ҚАБАТЫНЫҢ ФИЗИКАСЫ

Редактор: Колесников А.С.

М. Әуезов атындағы ОҚМУ баспасы
Қол қойылды «__»__2014г.
Формат 60х84 1/16. Офсетті баспа. Шартты т.б.. 6,0
Тираж 550 дана. Тапсырыс №__

© М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік ниверситетінің баспаханасы

М. Әуезов атындағы ОҚМУ баспахана орталығы , Шымкент қ, Тауке хан даңғылы, 5