

<sup>1</sup>А.Е.Жамашева\*, <sup>1</sup>Д.Г.Идрисова, <sup>1</sup>З.Ж.Рахмашев, <sup>1</sup>И.М.Кәрім, <sup>2</sup>Ж.Е.Ермуратова

<sup>1</sup>аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан

\*e-mail: adelya.zhamash@gmail.com

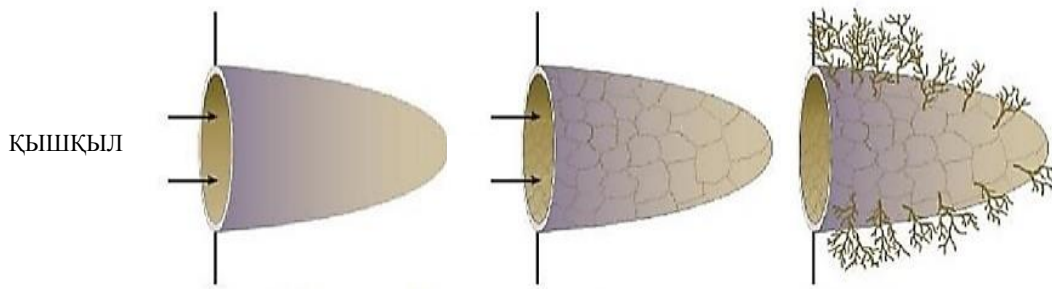
## ҚЫШҚЫЛДЫҚ ӨНДЕУ КЕЗІНДЕГІ АҒЫН БАҒЫТТАУШЫ АГЕНТТЕРДІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІ

**Андатпа.** Біртекті емес қабаттарды қышқылмен өңдеу кезінде қышқылды ауытқыту техникасы ағынды қарқындалу бойынша барлық қышқылмен өңдеу жұмыстарының құрамдас бөлігі болып табылады. Біртекті емес қабаттарды қышқылдық өңдеу барысында айдалған сұйықтықтардың қабат бойынша бірдей таралуын қамтамасыз ету үшін сұйықтықтың бағытын мақсатты аралыққа, яғни өткізгіштігі төмен аралыққа өзгерту қажет. Себебі, біртекті емес қабаттарда қабаттардың өткізгіштігінің әртүрлі болуына байланысты жоғары өткізгішті арналар қышқылмен өңделіп, өткізгіштігі төмен арналар өңделмей қалуы мүмкін. Мақалада бұл мәселенің алдын алу мақсатында ағынның таралуын өзгерту үшін қолданылатын ағын бағыттаушы (диверсия әдістері) әдістерінің, яғни қышқылды оңтайлы орналастыру әдістерінің технологиялық ерекшеліктері, тиімділік көрсеткіштері көрсетілген. Мақалада қарастырылып отырған ағын бағыттаушы агенттердің механикалық тәсілдерінің бірі Coil tubing технологиясына сандық эксперименттік зерттеулер жүргізу арқылы оның тиімділігі анықталған.

**Негізгі сөздер:** қышқыл, қышқылмен өңдеу, ағын бағыттаушы агенттер, арналар, біртекті емес қабаттар, өткізгіштік, диверсия, coil tubing.

**Кіріспе.** Мұнай-газ кәсіпшілігінде кен орындарды игерудің тиімділігі пайдалану уақыты ішіндегі ұңғымалардың өнімділігіне байланысты орын алады. Қышқылдық өңдеу - 1932 жылы тұз қышқылын (HCl) алғаш рет карбонатты коллекторларда мұнай ұңғымаларына әсер ету үшін қолданылған өндіру әдісі. Қабаттың өнімділігінің жоғарылауына және скин-эффекттің төмендеуіне қышқылдық өңдеу жүргізу арқылы қол жеткізіледі, оның негізгі мақсаты – таужыныстарды еріту арқылы жоғары өткізгішті арналарды құру [9]. Өнімділікті жақсарту үшін қышқыл негізіндегі жүйелерді пайдалана отырып, қабаттарды қышқылдық өңдеу мұнай және газ өнеркәсібінде кең таралған әдістердің бірі. Алайда, олардың қолданылуын шектейтін негізгі проблемалардың бірі - коллектордың біртекті емес болуына байланысты қышқыл ағынының қажетті өңдеу аймағына орналастыру қиынға соғады, бұл қышқылдық өңдеудің төмен тиімділігіне себепші болуы мүмкін. Коллектор өткізгіштігінің жоғары контрасты және стимуляцияның нәтижелі болмауы, төмен өткізгішті аймақтарының қамтылмай қалуына әкеледі. Жоғарғы өткізгіштікке және төмен қысымға ие қабатшаларда айдау агентінің шамадан тыс жоғалу әсері басым болады [13]. Қышқылдық өңдеу арқылы қышқылдың толық аймақтық және оңтайлы таралуына қол жеткізу мәселесі әлі күнге дейін сақталуда [3].

Біртекті емес коллекторларда қышқылдық өңдеуді жүргізу кезіндегі негізгі міндеттердің бірі қышқылды оңтайлы орналасуын қамтамасыз ету және қышқылдың барлық аймақтың бойында таралуы болып табылады. Ашық оқпанның, жоғары температураның, сарқылған қабаттардың болуы – бұл процессті тежеулетеді. Біртекті емес коллекторларда қышқылдардың біркелкі таралмауына байланысты қабаттың зақымдалуына және мұнай бергіштіктің төмендеуіне байланысты ағын бағыттаушы агенттер технологиясы қолданылады. Қышқылдық өңдеуде ағын бағыттаушы агенттер технологиясы мақсатсыз аймақты уақытша жауып, негізгі өңдеу сұйықтығын мақсатты қабатқа, яғни өткізгіштігі төмен қабатқа ағын бағыттаушы агенттерді енгізу болып табылады.



1 - сурет. Қышқылдық өңдеудің принципті схемасы [11]

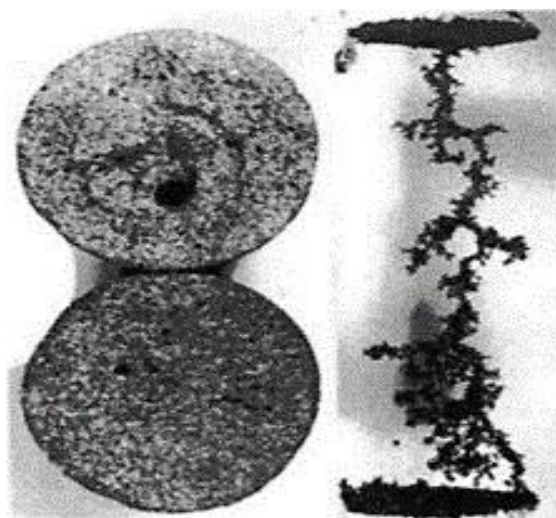
Қышқылдық өңдеу процесі кезінде айдау агенті қабатқа енген кезде тау жынысы қышқылда ериді, соның салдарынан оның сүзу-сыйымдылық қасиеттерінің (кеуектілігі мен өткізгіштігі) қайтымсыз өзгеруі орын алады. 1-суретте көрсетілгендей қышқыл таужыныстарды еріту арқылы жоғары өткізгіштікті арналардың техногендік желісінің пайда болуына әкеледі [11].

Жоғары өткізгішті арналардың (ЖӨА) таралуы үшін ең алдымен, реакция қарқынды болуы керек. Карбонатты коллектордағы қышқылды еріту механизмі 1- кестеде көрсетілген.

**1 - кесте. Қышқыл және таужыныс реакция теңдеулері**

Таужыныс	Реакция теңдеуі
Доломит	$2\text{HCl} + \text{CaCO}_3 = \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
Кальцит	$4\text{HCl} + \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = \text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
Сидерит	$2\text{HCl} + \text{FeCO}_3 = \text{FeCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Өктаста еріту фронтының әркелкі қозғалуына байланысты ірі арналар (червоточина) пайда болуы мүмкін. 2 -суретте кернде қышқылды сүзу арқылы зерттеу барысында пайда болған жоғары өткізгіштік арнаның пішіні көрсетілген [1].



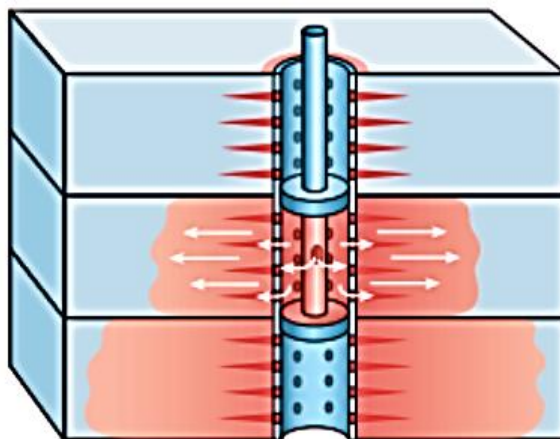
2 - сурет. Жоғары өткізгіштікті арна желісі

ЖӨА карбонаттардағы кеуектерге қарағанда көлемі жағынан едәуір үлкенірек екенін, яғни каналдармен өткізілген аймақтағы қысымның жоғалуы аз екенін ескеру қажет. Қабатты

сұйықпен өңдеу кезінде ЖӨА пайда болу процесінің маңызы зор, өйткені қышқылдың қабатқа ену деңгейін арттырады және қышқылдың жарық бойымен жылжуын шектейді. Арналардың пайда болу процесі бірінші кезекте жыныстың еру процесі үлкен көлемдегі жолдармен арналарда жылдам жүретініне байланысты [5,6].

**Зерттеу материалдары мен әдістері.** Қышқылдық өңдеудің табыстылығы өткізгіштігі бойынша біртекті емес қабаттар үшін қышқылдың оңтайлы орналасуына байланысты. Ұңғымалардағы ағынды жеделдету үшін, қабаттың біркелкі өңделуі үшін оңтайлы ағын бағыттаушы агенттер технологиясын қолдануды таңдау және негіздеу болып табылады. Қышқылмен өңдеу үшін айдалатын қышқыл құрамын ауытқытудың кейбір механикалық тәсілдері бар, олар: перфорациялық саңылауларды бітеу үшін айдалатын сұйықтықтың құрамына қосылатын резеңке жабыны бар герметик шарларды пайдалану және операциялар жүргізу кезінде ұңғыманың басқа учаскелерінен өңдеу үшін қажетті аймақты оқшаулайтын пакерлерді пайдалану. Қышқылдық өңдеудің тағы бір механикалық тәсілі Coil Tubing болып табылады. Coil Tubing қабаттың нақты берілген аралығына бағытталған қышқылды айдауға мүмкіндік береді [8]. Қазіргі кезде әртүрлі ағын бағыттаушы агенттер әзірленеді және олар келесі талаптарға ие болуы керек: (1) ағын бағыттаушы агенттер айдаудың жақсы көрсеткіштері болып табылады және ұңғыманың түрімен шектелмейді; (2) олар өңдеу ерітіндісімен және флюидпен жақсы үйлесімділікке ие болуы керек; (3) өңдеуден кейін оларды жасанды түрде немесе автоматты түрде бұзуға болады; (4) ағын бағыттаушы агенттерді дайындау үшін таңдап алынған шикізат экологиялық таза материал болуы қажет [4].

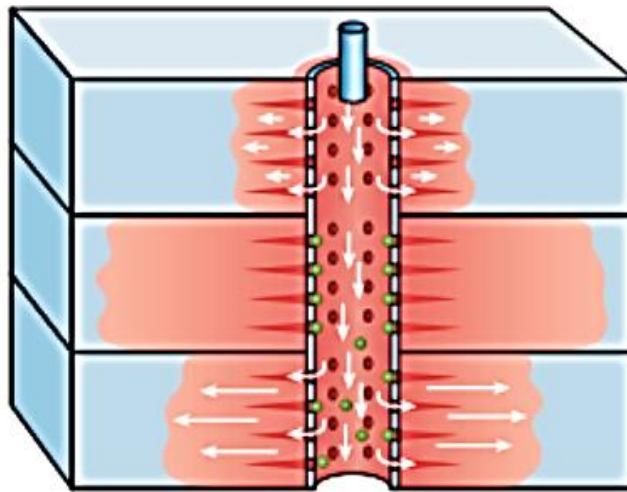
Қышқылдың біркелкі орналасуына қол жеткізудің ең сенімді әдісі – бұл жеке аймақтарды механикалық оқшаулау және барлық аймақтарды кезек-кезек өңдеу болып табылады. Механикалық оңтайлы орналастыру әдістері ұңғымадан құбырларды алып тастауды талап етеді, сондықтан бұл әсер етудің құнын айтарлықтай арттырады. Алайда, бұл құн, әсіресе көлденең ұңғымаларда жақсартылған орналастыру арқылы ақталуы мүмкін. Механикалық оқшаулау әдістеріне мыналар кіреді: еркін көп сатылы тәсілі, coil tubing, шар герметиктер.



3 – сурет. Еркін көп сатылы тәсілі [12]

**Еркін көп сатылы тәсілі.** Бұл әдіс физикалық құралдарды қолдана отырып, әртүрлі аймақтарды немесе резервуарлардың учаскелерін бөлуді қамтиды. Бұл жеке аймақтарды бөлу үшін пакерлерді қолдана отырып, аймақты бірінен кейін бірін өңдеу әдісі болып табылады. Егерде пакерлердің саңылаусызданып және шегендеу бағанасының цементі жеткілікті болса, бұл әдіс ең қолайлы болып табылады. Сондай-ақ, әрбір қабаттарды сынауға мүмкіндік бар. Яғни стимуляциядан кейін және дейін де қабат сыналады. Бұл әдістің қаншалықты тиімді екенін білдіреді және ұңғы түп маңының ластану дәрежесінің мәнін және

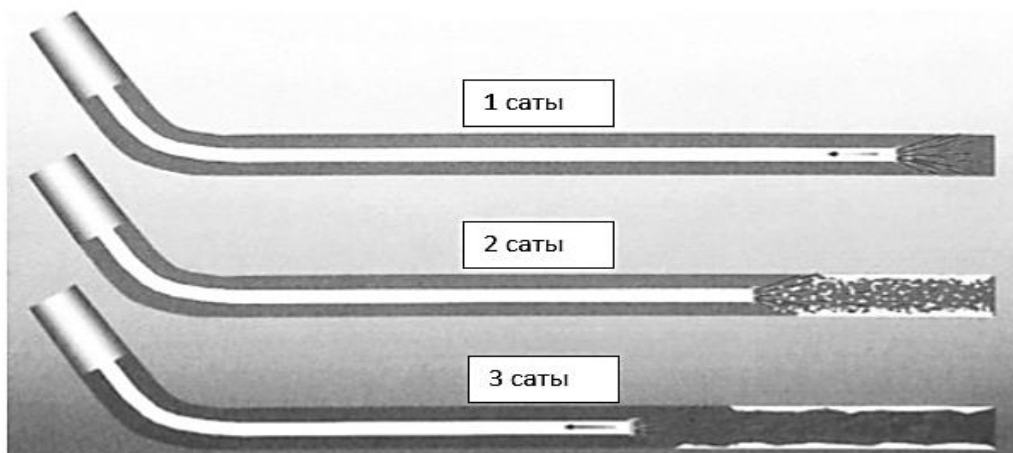
қабаттың қасиеттерінің нәтижесін алуға мүмкіндік береді. Алайда бұл әдіс қаржылық қажеттілікті тудырады [12].



4 – сурет. Шар герметиктер [12]

**Шар герметиктер.** Шар герметиктер шегендеу құбырындағы перфорация саңылауларына отырғызыла отырып, айдалған сұйықты мақсатты перфорация саңылауларына жөнелтуге арналған резеңке жабыны бар шариктер болып табылады. Шар герметиктер өңдеу сұйықтығына кезең-кезеңмен қосылады, сондықтан перфорация қатарына қышқыл келіп түскеннен кейін олар бұғатталып, қышқыл мақсатты перфорация саңылауларына әсер етеді. Көбінесе шар герметиктер өңдеу сұйықтығына қарағанда тығыз, сондықтан өңдеуден кейін шар герметиктер перфорация тесіктеріне түседі. Дегенмен тығыз шарлы герметиктерге қарағанда, көтергіш сұйықтықта сәл қалқымалы шар герметиктері тиімді болып табылады. Бейл (1984) сондай-ақ Сауд Арабиясындағы карбонатты коллекторларда қышқылдық өңдеу кезінде қалқымалы шар герметиктері тиімді екенін көрсетті. Қалқымалы шар герметиктер өңдеу аяқталғаннан кейін жер бетіне шығарылуы тиіс. Шар герметиктерін пайдалану жалпы нұсқаулық бойынша перфорация саңылауларына қарағанда тығыз шар герметиктерін екі есе көп пайдалану керек, ал қалқымалы шар герметиктері үшін 50 пайыз артық болуы ұсынылады. Шар герметиктерінің отыру тиімділігі айдау жылдамдығының ұлғаюымен артады, сондықтан төмен жылдамдықпен өңдеу үшін шар герметиктерді пайдалану ұсынылмайды. Тығыз шарлар төменгі жағының перфорациясына, ал қалқымалы шарлар - жоғарғы жағының перфорациясына отырғызылады [10].

**Coil Tubing.** Қазіргі уақытта coil tubing қышқылдық өңдеудің маңызды құралы болып табылады. Бұл ұңғымада қышқылдың дұрыс өңделуіне көмек береді. Бұл көлденең ұңғымаларда өте маңызды болуы мүмкін, өйткені бұл бүкіл ұңғымамен қышқыл байланысын қамтамасыз етеді. Coil tubing арқылы қышқылдық өңдеу ұңғыма оқпанының немесе аяқтау құбырының агрессивті сұйықтықтармен тікелей байланысын болдырмай жұмыс атқарады. Coil tubing арқылы қышқыл құрамына химиялық реагенттерді қосып қабатқа айдау тиімді болады [2]. Coil tubing жолдары қазір көптеген мөлшерде (диаметрі 1 ден 3 1/2 дюймға дейін) және тереңдіктің рұқсат етілген деңгейіне дейін нәтижесін көрсете алады. Ұңғыларды қышқылдық өңдеу және тазарту кезінде қолданылатын coil tubing диаметрі 1 1/4 ден 2 дюймға дейін болады.



5 – сурет. Coil Tubing әсер ету сатылары [2]

Қышқылдық өңдеуге арналған coil tubing негізгі артықшылықтары:

1. Егер жалғасатын өңдеу бұдан ешқандай пайда әкелмейтін болса, қышқылдың енгізілуін жеңілдетуге болады. Coil tubing жолындағы жалпы көлем аз және оны тез ауыстыруға болады.

2. Азотты өңдеудің жеңілдігі реактивті сұйықтықтарды ұңғымадан тез шығарады және сол арқылы сұйықтықтың ұңғыға жақын аймағына жетіп және кері ағымды күшейтеді.

3. Инженерлік қондырғыларды толық аралықпен өңдеуге немесе аймақтарды селективті (көмірсутек шығаратын) өңдеуге арналған, мысалы, судың көп мөлшері бар ұңғымаларға орнату мүмкіндігі.

Кемшіліктерге мыналар жатады:

1. Сорғы жылдамдығының шектеулі болуы. Кішкентай диаметрлер үйкеліс қысымының жоғарылауына әкеледі, бұл инъекция жылдамдығын қажетті деңгейден төмен деңгейге дейін төмендетуі мүмкін.

2. Бөлшектелген заттарды (мысалы, бөлшектік диспергаторлар немесе шар тәрізді тығыздағыштар) coil tubing-ке салу өте қиын.

3. Қышқыл қоспаларды өте мұқият араластыру керек және инъекцияға дейін, сол кезде де сақтау керек. Coil tubing жолындағы коррозия әсіресе көп болады.

**Сандық эксперименттік зерттеулер.** Ағын бағыттаушы агенттерін скин мониторингі арқылы бағалау. Скин факторын есептеу үшін скин мониторингі әдісі қолданылды. Өңдеу кезіндегі скин факторды бағаланғаннан кейін, өнімділік коэффициенттері анықталды [7]. Біртекті емес қабаттарды қышқылдық өңдеу процесінің тиімділігін бағалау үшін, скин-факторын есептеу үшін пайдаланылуы мүмкін тәсілдің қысқаша мазмұны келтірілген.

Бұл есепте тік ұңғыманың мәліметтері, резервуар мәліметтері берілген. Ұңғыма оқпанындағы құбыр бастапқыда қышқылмен толтырылған. Құбырдағы инертті сұйықтық (спейсер) қабатқа айдалады. Бастапқы скин-фактор 30-ға тең деп болжанды. Келесі теңдеулер скин-факторды, түптік қысымды бағалауға қатысты кезеңдерді көрсетеді.

1) Алдымен 5 минут уақыт ішінде енгізілген қышқылдың жалпы мөлшерін анықтаймыз:

$$V_{\text{жалпы}} = \sum_{i=2}^5 (q_i \times (t_i - t_{i-1})) \quad (1)$$

2) Құбырдағы жаңа сұйықтық бағанының ұзындығын анықтаймыз:

$$Length_{new} = \frac{V_{жалпы} \times 144 \times 4}{\pi \times (d_{СКК})^2} \quad (2)$$

3) Қолданыстағы ұңғымалық сұйықтық бағанының ұзындығын есептейміз:

$$Length_{old} = TVD - Length_{new} \quad (3)$$

4) Құбырдағы гидростатикалық қысым:

$$\Delta P_{PE} = \frac{g}{g_c} \times (\rho_{new} \times Length_{new} + \rho_{old} \times Length_{old}) \quad (4)$$

5) Құбырдағы сұйықтыққа арналған Рейнольдс саны:

$$N_{RE} = \frac{1.48 \times \rho \times q}{\mu \times d_{tube}} \quad (5)$$

6) Ұңғымадағы сұйықтық үшін Рейнольдс саны 312766,5 құрайды. Рейнольдс сандары 2000-нан көп болғандықтан, құбырдағы ағын турбулентті болады. Осыған сүйене отырып, үйкеліс коэффициенті төмендегідей есептеледі:

$$f_f = \left[ -4 \log \left\{ \frac{\varepsilon}{3.7065} - \frac{5.0452}{N_{RE}} \log \left[ \frac{\varepsilon^{1.1098}}{2.8257} + \left( \frac{7.149}{N_{RE}} \right)^{0.8981} \right] \right\} \right]^{-2} \quad (6)$$

7) Ұңғымадағы сұйықтық үшін үйкеліс коэффициенті  $3,86 \times 10^{-3}$  құрайтын болғандықтан, үйкеліс қысымының төмендеуі келесі түрде болады:

$$\Delta P_f = \frac{7.355 \times 10^{-7} \times q^2 \times (\rho_{new} \times Length_{new} \times f_{fn} + \rho_{old} \times Length_{old} \times f_{fo})}{d_{tube}^5} \quad (7)$$

8) Түптік қысым төмендегідей есептеледі:

$$P_{wf} = P_{st} + \Delta P_{PE} - \Delta P_f \quad (8)$$

9) Скин мәліметтерін алу үшін, инъективтіліктің кері функция сызығының көлбеулігі мен суперпозиция уақыты есептеледі:

$$m = \frac{162.6 \times \beta \times \mu}{k \times h} \quad (9)$$

10) Сәйкесінше суперпозиция уақыты келесідей анықталады:

$$\Delta t_{sup} = \sum_{j=1}^N \frac{q_j - q_{j-1}}{q_N} \times \log(t_N - t_{j-1}) \quad (10)$$

11)  $b$  коэффициентін есептеу:

$$b = \frac{P_{wf} - P_i}{q_i} - m \times \Delta t_{sup} \quad (11)$$

12) Керекті коэффициенттер анықталғаннан соң, айқын скин-эффектті анықтаймыз:



$$S_{Apparent} = \frac{1}{0.868} \left( \frac{b}{m} - \log \left( \frac{k}{\varphi \times \mu \times c_t \times r_w^2} \right) + 3.23 \right) \quad (12)$$

13) Келесі кезекте тұтқыр скинді анықтау үшін, қышқылдың ену радиусын анықтаймыз:

$$r_i = \sqrt{\frac{V_i}{\pi \times \varphi \times h} + r_w^2} \quad (13)$$

14) Келесі кезекте, тұтқыр скинді анықтаймыз:

$$S_{viscous} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\mu_{res}} \ln \left( \frac{r_i}{r_{i-1}} \right) - \ln \left( \frac{r_n}{r_0} \right) \quad (14)$$

15) Енді қабаттың зақымдалуынан болған скинді анықтаймыз:

$$S_{damage} = S_{apparent} - S_{viscous} \quad (15)$$

16) Өнімділік коэффициенті:

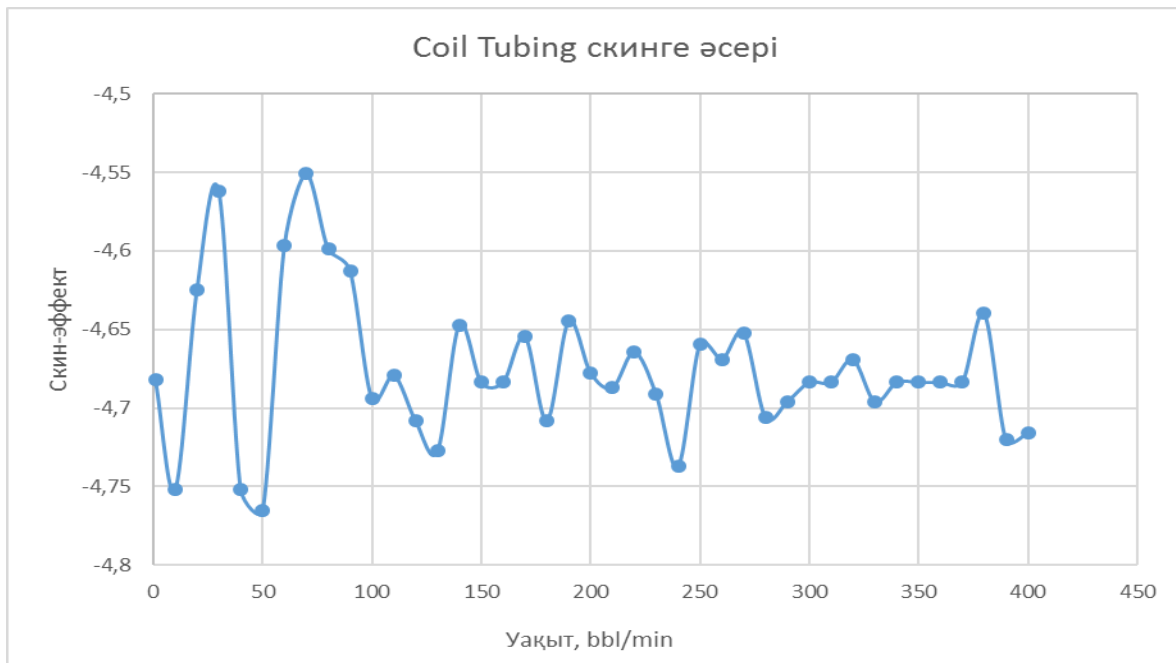
$$\frac{J_{соңғы}}{J_{бастапқы}} = \frac{\ln \left[ \frac{hI_{ani}}{r_w(I_{ani} + 1)} \right] + \frac{\pi y_b}{hI_{ani}} - 1.224 + S_f}{\ln \left[ \frac{hI_{ani}}{r_w(I_{ani} + 1)} \right] + \frac{\pi y_b}{hI_{ani}} - 1.224 + S_i} \quad (16)$$

2 – кесте. Coil tubing арқылы айдалған қышқыл қасиеттері:

№	Сұйық атауы	Көлемі, gal	Тығыздық, lb/ft <sup>3</sup>	Тұтқырлық, ср
1	HCl	54810	63,58	0,51

№	Құбыр типі	Өлшенген тереңдік, ft
1	Start Pump	11420
2	POOH	11135
3	POOH	9814
4	POOH	9545
5	POOH	8326
6	RIH	9545
7	RIH	9814
8	Stop Pump	11420

Төмендегі 6 - суретте скин факторының алғашқы уақыттарда үлкен толқуларға ұшырағанын байқауға болады. Бұл күтпеген үрдіс үйкеліс қысымының өзгеруімен және coil tubing қозғалысымен туындауы мүмкін. Осы ұңғымадан сұйықтық өндіру дебиті уақыт мерзімінде өңдеуден кейін 63 %-ға өседі. Скин мәні 0,0502-ден -4,7156 көрсетті.



6 – сурет. Coil tubing арқылы айдалған қышқылдың уақыт көлемінде скин өзгерісі

**Қорытынды.** Қорытындылай келе, біртекті емес қабаттарды қышқылдық өңдеу барысында, жоғары өткізгіштікті қабаттардың қышқылмен басым бөлігі қамтылып, төмен өткізгіштікті қабаттар өңделмеу мәселелерін алдын алатын механикалық ағынды бағыттаушы әдістер тиімді болып табылады. Coil tubing ағын бағыттаушы агенттер технологиясына сандық эксперименттік есептеулер жүргізу барысында оның тиімділігі көрсетілді. Осы есептеулер барысында скин мониторинг әдісі ағын бағыттаушы агенттерін бағалау үшін сәтті қолданылды. Өңдеуден кейінгі негізгі нәтижелері:

1. Скин фактордың өзгеріс үрдісі әрбір енгізілген сұйықтықтың өңдеу кезіндегі үлесін түсінуге көмектесті. Басқаша айтқанда, скин мәні қабаттың зақымдануына оң немесе теріс әсер ететінін көрсетті.
2. Скин мониторингі ағын бағыттаушы агентінің эффективтілігін және айдалған агенттің көлемін жеткілікті екенін анықтауға мүмкіндік берді.
3. Жұмыстың мақсаты ағын бағыттаушы агенті арқылы қышқылды дұрыс орналастыру болғандықтан, скин мониторингі кезінде мақсатты интервал бойынша вариациялар қарастырылмады. Мақсатқа жету үшін қышқылды орналастыру моделін пайдалану ұсынылады.

#### REFERENCES

- [1] C.N. Fredd, M.J. Miller. Validation of Carbonate Matrix Stimulation Models. Journal of petroleum technology (SPE) 58713. <https://doi.org/10.2118/58713-MS> (2000)
- [2] Chang, Frank F., Xiangdong Qiu, and Hisham A. Nasr-El-Din. Chemical diversion techniques used for carbonate matrix acidizing: An overview and case histories. Journal of petroleum technology (SPE) 106444. (2007)
- [3] Cohen C.E., Tardy P. M. J, Lesko T. Diversion with a Novel Fiber-Laden Acid System for Matrix Acidizing of Carbonate Formations. Paper SPE 134495 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 19-22 September. (2010)
- [4] Economides, Michael J., A. Daniel Hill, Christine Ehlig-Economides, and Ding Zhu. Petroleum production systems. Pearson Education. (2012)
- [5] F.F. Chang and M. Abbad. Optimizing Well productivity by Controlling Acid Dissolution Pattern during Matrix Acidizing of Carbonate Reservoirs. Paper IPTC 12368 presented at the International Petroleum Conference. <https://doi.org/10.2523/IPTC-12368-MS> (2008)



- [6] F.Chang, Q.Qu, W.Frenier. A Novel Self-Diverting-Acid Developed for Matrix Stimulation of Carbonate Reservoirs. Journal of petroleum technology (SPE) 65033. <https://doi.org/10.2118/65033-MS> (2001)
- [7] Hill, A. Daniel, and W. R. Rossen. Fluid placement and diversion in matrix acidizing. Journal of petroleum technology. Society of Petroleum Engineers. (1994)
- [8] J. A. Robert and W. R. Rossen., Fluid Placement and Pumping Strategy, Michael J. Economides, Reservoir Stimulation.
- [9] K.M.Hung, A.D.Hill and K.Sepehrnoori. A Mechanistic Model of Wormhole Growth in Carbonate Matrix Acidizing and Acid Fracturing. Journal of Petroleum Technology (41(1)), 59-66. (1989)
- [10] Michael J. Economides A., Daniel Hill Christine Ehlig-Economides Ding Zhu. Petroleum production systems second edition: Mechanical Acid placement, Pearson Education, 496-497 (2013)
- [11] M. A. Sayed, H. A. Nasr-El-Din, J. Zhou, S. Holt and H. Al-Malki. A New Emulsified Acid to Stimulate Deep Wells in Carbonate Reservoirs. Journal of petroleum technology (SPE) 151061. <https://doi.org/10.2118/151061-MS> 64. (2012)
- [12] Nolte, Kenneth G. Reservoir stimulation. Ed. Michael J. Economides. Vol. 18. (2000)
- [13] Posti D, Ellison T.K, Chang D. Optimization of Carbonate Stimulation based on Long-Term Well Performance Predictions. Paper IPTC 13622 presented at the International Petroleum Conference, 7-9 December. (2009)

<sup>1</sup>А.Е.Жамашева\*, <sup>1</sup>Д.Г.Идрисова, <sup>1</sup>З.Ж.Рахмашев, <sup>1</sup>И.М.Карим, <sup>2</sup>Ж.Е.Ермуратова

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева, Атырау, Казахстан

\*e-mail: adelya.zhamash@gmail.com

### МЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ПОТООТКЛОНЯЮЩИХ АГЕНТОВ ПРИ КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКЕ

**Аннотация.** Эффективная техника отвода является важнейшим компонентом всех кислотных работ по интенсификации притока, что позволяет нам достичь полного охвата зоны и тем самым достичь целей обработки. В процессе кислотной обработки неоднородных пластов необходимо изменить направление жидкости на целевой интервал, т. е. интервал с низкой проницаемостью, чтобы обеспечить равномерное распределение перекачиваемых жидкостей по пласту. Это связано с тем, что в неоднородных пластах из-за различной проницаемости слоев высокопроницаемые каналы могут быть обработаны кислотой, а каналы с низкой проницаемостью могут остаться без обработки. В статье изложены технологические особенности методов потокоотклоняющих агентов (диверсионных методов), используемых для изменения распределения потока с целью предотвращения этой проблемы, т. е. методов оптимального размещения кислоты. В статье, рассмотрено один из механических способов потокоотклоняющих агентов технология Coil tubing и определено его эффективность путем проведения количественных экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** кислота, кислотная обработка, потокоотклоняющие агенты, каналы, неоднородные пласты, проницаемость, диверсия, coil tubing.

<sup>1</sup>A.E.Zhamasheva\*, <sup>1</sup>D.G.Idrisova, <sup>1</sup>Z.Zh.Rakhmashev, <sup>1</sup>I.M.Karim, <sup>2</sup>ZH.E.Ermuratova

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Atyrau University of Oil and Gas named after Safi Utebayev, Atyrau, Kazakhstan

\*e-mail: adelya.zhamash@gmail.com

### MECHANICAL METHODS OF FLOW-DIVERTING AGENTS DURING ACID TREATMENT

**Abstract.** An effective diversion technique is a crucial component in all acid stimulation jobs, which allows us to achieve full zonal coverage and thereby achieve the treatment objectives. In the process of acidizing heterogeneous formations, it is necessary to change the direction of the fluid to the target interval, i.e., the interval with low permeability, to ensure an even distribution of pumped fluids throughout the

formation. This is because in heterogeneous formations, due to the different permeability of the layers, highly permeable wormholes can be treated with acid, and wormholes with low permeability can remain untreated. The article describes the technological features of methods of flow-diverting agents (diversion methods) used to change the flow distribution to prevent this problem, i.e. methods of optimal acid placement. In the article, one of the mechanical methods of flow-diverting agents, the Coil tubing technology, is considered and its effectiveness is determined by conducting quantitative experimental studies.

**Keywords:** acid, acid treatment, flow-diverting agents, heterogeneous layers, wormholes, diversion, permeability, coil tubing.