

ӘОЖ 622.276:532.5  
FTAMP 52.47.15

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2026-23-2-451-463>

**<sup>1</sup>Сулейменова Р.Т.,**  
PhD, ORCID ID: 0000-0001-7995-5560,  
e-mail: raika\_83@mail.ru  
**<sup>1\*</sup>Мукамбеткалиева А.Н.**  
докторант, ORCID ID: 0000-0003-2236-0333,  
\*e-mail: ainash\_m\_89@mail.ru  
**<sup>1</sup>Жанай М.А.**  
докторант, ORCID ID: 0009-0005-6750-139X,  
e-mail: m.zhanai25@aogu.edu.kz  
**<sup>1</sup>Құлмағанбет Қ.**  
магистрант, ORCID ID: 0009-0009-4656-9589,  
e-mail: darkhan.muratov.95@bk.ru  
**<sup>1</sup>Жилисбаев Г.Б.**  
магистрант, ORCID ID: 0009-0007-3163-1218,  
e-mail: orazkhanly@inbox.ru  
**<sup>1</sup>Амиров С.С.**  
магистрант, ORCID ID: 0009-0001-3371-3360,  
e-mail: toregali.serik@bk.ru

<sup>1</sup>С. Өтебаев атындағы мұнай және газ университеті, Атырау қ., Қазақстан

## **Z КЕН ОРНЫ МЫСАЛЫНДА МҰНАЙ ҚАБАТТАРЫНДАҒЫ ҚЫСЫМНЫҢ ТАРАЛУЫН ЖӘНЕ ДЕФОРМАЦИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРДЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ**

### **Аңдатпа**

Терең жатқан коллекторларды пайдалану процесінде кеуекшілік қысымның өзгеруі нәтижесінде тау қысымы мен кеуекшілік қысым арасындағы айырма жыныс қаққасының деформациялануына жеткілікті деңгейге дейін артады, соның салдарынан жыныстардың сыйымдылық және сүзгілік қасиеттері едәуір өзгереді. Мұндай жағдайда флюидтердің көлденең ұңғымаларға келіп құйылу сипаты таяз орналасқан коллекторлардағы жағдайдан айтарлықтай өзгеше болады деп күтіледі. Осыған байланысты жарықшақты және деформацияланатын коллекторлардан құралған терең жатқан кен орындарын көлденең ұңғымалар арқылы игеру кезінде сүзгілік процестерді модельдеу әдістерін дамыту қажеттілігі туындап отыр. Сондықтан деформацияланатын коллекторлар жағдайында жұмыс істейтін көлденең ұңғымалардың өнімділігін анықтау әдістерін әзірлеуге бағытталған зерттеулер өзекті ғылыми-практикалық мәселе саналады. Мақала деформацияланатын біртекті және біртекті-анизотропты қабаттардағы сұйықтардың сүзілу процестерін гидродинамикалық зерттеу әдістемесін жетілдіруге және оларды көлденең әрі тік ұңғымалар арқылы пайдалану жағдайында талдауға арналған. Қазақстандағы ірі кен орындарының бірі – Z кен орны ұзақ уақыт бойы қажетті мұнай өндіру деңгейін қамтамасыз етіп келді және қазіргі уақытта игерудің соңғы кезеңіне жақындап отыр. Соңғы жылдары газасты аймақтарында орналасқан өткізгіштігі төмен коллекторларда, жоғары тұтқыр мұнайы бар қабаттарда, сондай-ақ жарықтармен және белсенді табан суларының болуымен күрделенген қабаттарда қалдық мұнай қорларын өндіру қиын кен орындарының саны айтарлықтай артты. Мұндай объектілерді тиімді игеру ұңғымаларды пайдаланудың дәстүрлі технологиялары арқылы қамтамасыз етілмейді. Қазіргі уақытта мұнай және газ кен орындарын көлденең ұңғымалар арқылы игеру қиын өндірілетін мұнай мен газ қорларын өнеркәсіптік игеруге тартудағы ғылыми-техникалық прогрестің басым бағыттарының бірі саналады.

**Түйін сөздер:** кен орны, зерттеу, ұңғыма, өнімділік, мұнай қабаты, математикалық модель.

## Кіріспе

Зерттеудің негізгі міндеттері – горизонталды және тік ұңғымаларды қолдану жағдайында мұнай және газ кен орындарын игеру саласындағы қазіргі зерттеулердің жағдайын талдау.

Терең қабаттардағы қысым мен деформация әсері көптеген зерттеулерде қарастырылып, олардың коллектор қасиеттеріне ықпалы дәлелденген [8, 10].

Зерттеудің негізгі мақсаты деформацияланатын изотропты және анизотропты қабаттарда горизонталды ұңғымалардың өнімділігін анықтау әдістерін әзірлеу болып табылады. Осы мақсатта қабаттың қалыңдығы, өткізгіштік бойынша анизотропиясы, ұңғыма орналасуы және фильтрация режимдерінің әсері математикалық модельдеу әдістері негізінде зерттелді.

Мақалада қарастырылған зерттеулер нақты физикалық-геологиялық жағдайлар үшін фильтрациялық процестерді математикалық модельдеу арқылы, жер асты гидродинамикасы заңдарын және математикалық физиканың классикалық әдістерін қолдану негізінде жүргізілді.

Гидродинамикалық модельдеу мұнай-газ кен орындарын игерудің негізгі ғылыми құралдарының бірі болып саналады [1, 6].

## Материалдар мен әдістер

Жұмыста АҚШ-тағы Остин Чок кен орны аумағындағы горизонталды ұңғыманы стационарлық емес зерттеу нәтижелері және репрезентативті деректер жиынтығы ұсынылған. Деректер жиынтығы уақыттың бастапқы кезеңінде радиалды ағынның мүмкіндігін көрсетеді, алайда ол ұңғыма оқпанында сұйықтың жиналу әсерінен (wellbore storage effect) едәуір бұрмаланады. Бұдан кейін сызықтық притоктың айқын кезеңі байқалады. Горизонталды ұңғымалардың жұмысын зерттеу заманауи гидродинамикалық модельдерге негізделеді [6, 9]. Алынған деректер екі кеуектілігі бар псевдостационарлық модель тұрғысынан түсіндіріліп, жарықшақтардың өткізгіштігінің өзгеру диапазоны, кеуектер көлемі және переток коэффициентінің шамасы анықталды (3-кесте).

Кесте 1 – Кеуектер көлемі және переток коэффициентінің есептік мәндері

Параметр атауы	Белгіленуі	Мәні (шамамен)	Өлшем бірлігі
Кеуектер көлемі	$V_p$	0.18–0.24	үлес бірлігі
Переток коэффициенті	$\lambda$	0.002–0.008	1/тәу
Жарықшақ өткізгіштігі	$k_f$	350–650	мД
Матрицалық өткізгіштік	$k_m$	80–250	мД

Кеуектер көлемі мен переток коэффициентінің алынған мәндері 1-кестеде келтірілген және олар гидродинамикалық модель құру кезінде бастапқы параметрлер ретінде пайдаланылды.

Горизонталды ұңғыманың жұмысын сипаттайтын дербес туындылы теңдеу өте күрделі болып табылады. Жұмыста [1] бұл теңдеудің кеніш үшін шешімі ұсынылған. Қазіргі зерттеулерде мұндай теңдеулер сандық және аналитикалық әдістер арқылы шешіледі [6, 8]. Шешім айнымалыларды бөлу әдісі арқылы алынған. Алынған шешімнің баяу жинақталуы белгілі бір қарапайымдатылған формулаларды қолдану арқылы жеңілдетілген. Күрделі шешім ұңғыманың өнімділігін есептеуге ыңғайлы формаға келтірілген.

Ұсынылған аналитикалық шешім бойынша алынған нәтижелер классикалық Дарси моделі және tNavigator бағдарламасында алынған нәтижелермен салыстырылды. Салыстыру нәтижелері ұсынылған формулалардың жеткілікті дәлдікпен инженерлік есептеулерде қолдануға жарамды екенін көрсетті.

Алынған өрнектің түрі тік ұңғыма үшін белгілі классикалық өрнекке ұқсас. Екі параметрді анықтауға арналған қарапайым формулалар ұсынылады:

Кесте 2 – Қабаттың анизотропиялық өткізгіштік параметрлері

Параметр атауы	Белгіленуі	Мәні (шамамен)	Өлшем бірлігі
Горизонтальді өткізгіштік	$k_h$	120–250	мД
Вертикальді өткізгіштік	$k_v$	60–120	мД
Анизотропия коэффициенті	$k_h/k_v$	1,5–2,2	–

Қабаттың өткізгіштік бойынша анизотропиясын сипаттау үшін горизонтальді және вертикальді өткізгіштік мәндері енгізілді. Z кен орны үшін горизонтальді өткізгіштік  $k_h = 120–250$  мД, ал вертикальді өткізгіштік  $k_v = 60–120$  мД аралығында қабылданды. Бұл параметрлер негізінде өткізгіштік анизотропия коэффициенті  $k_h/k_v = 1,5–2,2$  аралығында өзгеретіні анықталды. Аталған мәндер геометриялық факторды есептеу кезінде бастапқы параметрлер ретінде пайдаланылды.

$$K_{anis} = \frac{k_h}{k_v}$$

Қабат параметрлерін анықтау үшін тәжірибелік және модельдік зерттеу әдістері кеңінен қолданылады [2, 5].

Жаңалығы. Изотропты және өткізгіштік бойынша анизотропты, деформацияланатын коллекторлары бар қабаттарды ашқан горизонталды ұңғымалар үшін сұйықтың стационарлық және стационарлық емес притоғын анықтауға арналған аналитикалық әдістер әзірленді. Қабат деформациясының әсері (6)–(7) формулалар арқылы ескеріліп, оның өткізгіштік пен массалық ағынға ықпалы сандық есептеулер нәтижелерімен дәлелденді.

Горизонталды ұңғыманың өнімділігіне жолақ тәрізді қабаттың ашылу дәрежесі мен оның шекараларының әсері зерттелді.

Сонымен қатар қабаттардың деформациялық сипаттамалары мен өткізгіштік бойынша анизотропиясының горизонталды ұңғымалардың өнімділігіне әсері зерттеу нәтижелері көрсетілді.

Ғылыми жаңалығы – мұнай және газ кен орындарын игеру кезінде горизонталды ұңғымаларды қолдану тәжірибесі мен білімдері жүйелендіріліп, жалпыланған және олардың тиімді қолданылу аймақтары көрсетілген:

- ♦ алғаш рет ұсынылған әдіс арқылы горизонталды ұңғыманы өнімділігі бойынша оған эквивалентті сызықтық ағынмен алмастыру негізінде деформацияланатын коллекторлары бар шеңберлі және жолақ тәрізді изотропты және біртекті-анизотропты қабаттарда сұйықтың горизонталды ұңғымаға келуінің кеңістіктік гидродинамикалық есептерінің жаңа аналитикалық шешімдері алынған (фльтрацияның орныққан және орнықпаған режимдерінде);

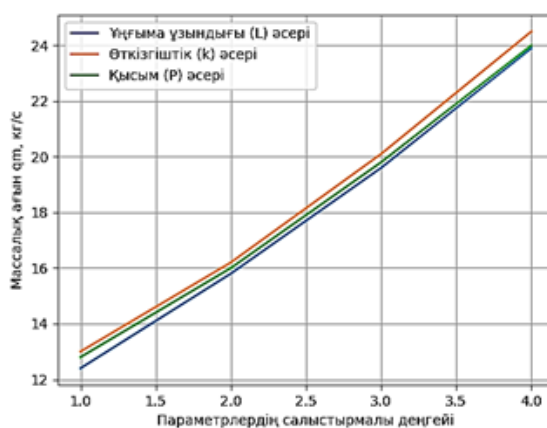
- ♦ горизонталды ұңғыманың өнімділігіне әсер ететін геологиялық-технологиялық факторлардың ықпал дәрежесін сипаттайтын аналитикалық тәуелділіктер алынған.

Жүргізілген есептеулер нәтижесінде горизонталды ұңғыманың өнімділігіне әсер ететін негізгі геологиялық-технологиялық факторлардың ықпал дәрежесі анықталды.

Жүргізілген есептеулер нәтижесінде горизонталды ұңғыма өнімділігіне әсер ететін негізгі геологиялық-технологиялық параметрлердің ықпалы бағаланып, олардың массалық ағынға әсері 1-суретте көрсетілген.

Кесте 3 – Геологиялық-технологиялық факторлардың массалық ағынға әсері

Параметр	Белгіленуі	Мәндер диапазоны	qm өзгерісі, %
Ұңғыма ұзындығы	L	600–1200 м	+48 %
Өткізгіштік	k	80–250 мД	+42 %
Қабат қысымы	P	26–32 МПа	+35 %
Анизотропия коэффициенті	$k_{\square}/k_v$	1.5–2.2	+18 %
Деформация коэффициенті	$\beta$	0.002–0.006	–9 %



Сурет 1– Негізгі геологиялық-технологиялық параметрлердің массалық ағынға кешенді әсері

Оларға қоректену контурының конфигурациясы, қабаттың қалыңдығы, өткізгіштік бойынша анизотропия коэффициенті мен деформациялық сипаттамасы, ұңғыманың ұзындығы, сондай-ақ ұңғыма оқпанының өнімді интервалдың төбесі мен табанына қатысты орналасуы жатады.

Есептерді шешудің математикалық әдістері. Қарастырылып отырған есеп келесі түрде тұжырымдалады: фильтрация режимі стационарлық деп есептей отырып, деформацияланатын коллекторы бар шектеулі изотропты қабаттың өткізбейтін төбесі мен табанына параллель орналасқан горизонталды ұңғымаға сұйықтың келуін анықтау қажет. Ұңғыма қабаттың табанынан Z0 қашықтықта орналасқан.

Зерттеуде қарастырылған горизонталды ұңғымалардың негізгі технологиялық параметрлері 4-кестеде келтірілген.

Кесте 4 – Горизонталды ұңғыманың негізгі параметрлері

Параметр атауы	Белгіленуі	Мәні (шамамен)	Өлшем бірлігі
Ұңғыманың тік тереңдігі	H	3000–3200	м
Горизонталды бөліктің ұзындығы	L	600–1200	м
Ұңғыма диаметрі	D	0,146–0,216	м
Қабатты ашу ұзындығы	Lh	500–1000	м
Ұңғыма радиусы	rw	0,073–0,108	м
Ұңғыма дебиті	Q	60–120	м <sup>3</sup> /тәу
Аяқтау әдісі	–	Ашық оқпан / перфорация	–
Ұңғыманың орналасу биіктігі	Z0	5–15	м
Скин-фактор	S	0–5	–

Кестеде келтірілген ұңғыма параметрлері математикалық модельдеу кезінде бастапқы деректер ретінде пайдаланылды.

Қабат контурында тұрақты қысым сақталады. Сұйық әлсіз сығылатын және тұтқырлығы тұрақты деп қабылданады. Сұйықтың кеуекті ортадағы қозғалысы Дарси заңына бағынады.

Ұзындығы  $l$  болатын ұңғыма оқпанының горизонталды бөлігін дәл сондай ұзындықтағы горизонталды сызықтық ағынмен алмастырайық. Бұл сызықтық ағын тұрақты қарқындылықтағы  $q = \frac{Q}{l}$ , (шығын тығыздығындағы) нүктелік ағындардан тұрады, мұндағы  $Q$  – горизонталды ұңғыманың дебиті,  $m^3/тәу$ .

Горизонталды ұңғыманы алмастыратын сызықтық ағынды құрайтын барлық нүктелік ағындардың әсерінен болатын қысым айырмасын анықтау үшін келесі әдіс қолданылады. Есептің шарты бойынша ұңғыма дебиті горизонталды ұңғыманың бүкіл ұзындығы бойымен біркелкі таралған деп қабылданады. Мұндай жағдайда горизонталды ұңғыма бетінде қысым мәндері нүктеден нүктеге өзгеріп отырады. Алайда оның бетінде түптік қысым мәні ұңғыма беті бойынша орташа мәніне тең болатын нүктені табуға болады.

Онда кез келген нүктедегі қысымның таралуы қазіргі гидродинамикалық модельдерге сәйкес анықталады [6, 9]. Қабаттағы фильтрациялық процестерді сипаттайтын теңдеудің толық математикалық шығарылуы классикалық гидродинамика әдістеріне негізделген және айнымалыларды бөлу мен интегралдау тәсілдері арқылы алынған. Қысқарту мақсатында аралық түрлендірулер бұл жұмыста толық келтірілмейді, ал соңғы аналитикалық өрнектер (1)–(3) формулалар түрінде ұсынылады.

$$Q_A = \frac{2\pi k_o \rho h}{\mu} \cdot \frac{\hat{O}_e - \hat{O}_n}{h \left[ \frac{3,1422 R_k}{l} + \frac{h}{l} \ln \left( \frac{h}{2\pi R_c} \cdot \frac{1}{\sin \frac{\pi z_o}{h}} \right) \right]} \quad (1)$$

Тиімді қысымға тәуелді белгілі аналитикалық тәуелділікті пайдалана отырып [5], қабаттың деформациялық қасиеттерінің әсерін ескеретін өрнек алынды.

$$\bar{K}(p) = a[1 - \delta(P_k - P_c)], \quad (2)$$

$$Q_A = \frac{2\pi \hat{e}_0 \rho h}{\mu} \frac{a(P_k - P_c) \left[ 1 - \frac{\delta}{2}(P_k - P_c) \right]}{h \left[ \frac{3,1422 R_k}{l} + \frac{h}{l} \ln \left( \frac{h}{2\pi R_c} \cdot \frac{1}{\sin \frac{\pi z_o}{h}} \right) \right]}, \quad (3)$$

Алынған (2) және (3) формулалар қабат жыныстарының серпімділік қасиеттерін сипаттайтын коэффициенттерді ескере отырып, горизонталды ұңғымаға келетін массалық ағынды анықтауға мүмкіндік береді. мұндағы  $a = A + BP_k - CP_r$ ;  $\delta = \frac{B}{a}$ ;  $A, B, C$  – қатты фазаның қаңқалық құрамдас бөлігінің серпімділік қасиеттерімен ерекшеленетін жыныстардың үш клаcы бойынша жүргізілген эксперименттік зерттеулер деректері негізінде стандартты бағдарлама арқылы ең кіші квадраттар әдісімен анықталған белгілі коэффициенттер;  $P_r$  – тау қысымы, МПа.

Кейіннен математикалық есептеулердің нәтижелері интеграцияланып,  $Z$  кен орны ұңғымаларының траекториясы бойында орналасқан GMS модель ұяшықтарына енгізілді.

Литологияның орташа мәндерін анықтау үшін РНІЕ кеуектілігі бойынша Колла қисықтары пайдаланылды [2, 5].

Кеуектілік пен өткізгіштікті бағалау үшін геостатистикалық әдістер кеңінен қолданылады [2, 8].

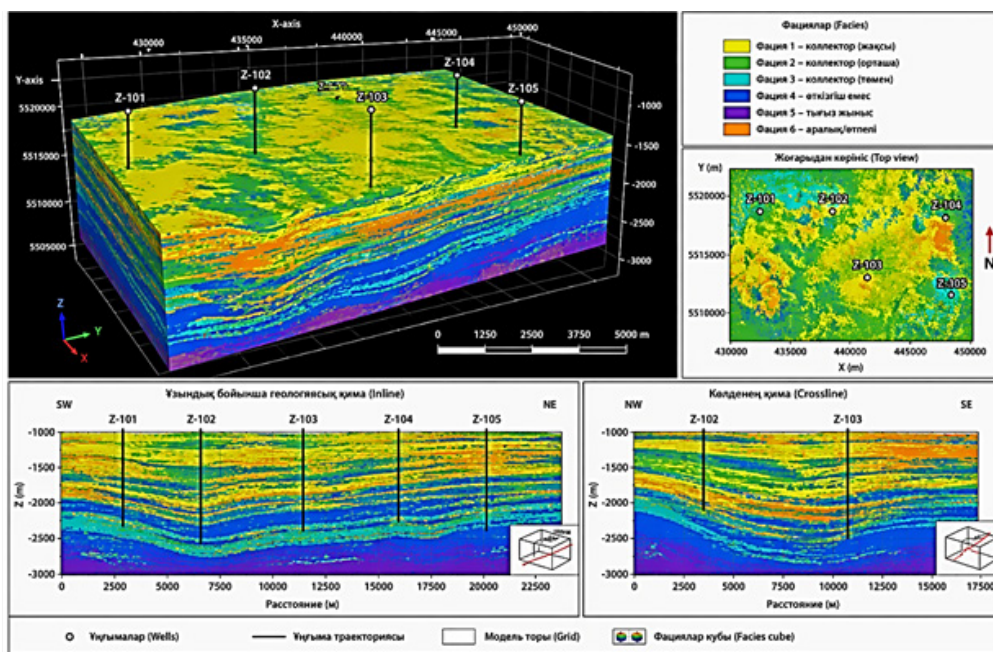
Z кен орнының негізгі геолого-физикалық параметрлері 3-кестеде келтірілген.

Кесте 5 – Z кен орнының негізгі геолого-физикалық параметрлері

Параметр атауы	Белгіленуі	Мәні (шамамен)	Өлшем бірлігі
Қабаттың жату тереңдігі	H	2800–3200	м
Өнімді қабат қалыңдығы	h	18–35	м
Кеуектілік	$\phi$	0,16–0,22	үлес бірлігі
Өткізгіштік	k	80–250	мД
Бастапқы қабат қысымы	Pпл	26–32	МПа
Қабат температурасы	T	75–95	°C
Мұнай тұтқырлығы	$\mu$	8–25	МПа·с
Мұнай тығыздығы	$\rho$	820–870	кг/м <sup>3</sup>
Газ факторы	GOR	40–90	м <sup>3</sup> /т
Анизотропия коэффициенті	kx/ky	1,2–2,5	—

Кестеде келтірілген параметрлер Z кен орны үшін геологиялық-гидродинамикалық модель құру және фильтрациялық процестерді есептеу кезінде пайдаланылды.

Литологиялық модельдеу. Ұңғымалар арасындағы кеңістікте фациялар кубының үздіксіз мәндерін тарату үшін біз Petrel бағдарламасында қолжетімді детерминациялық интерполяция әдісі – индикаторлық кригингті қолдандық.



Сурет 2 – Petrel бағдарламасында индикаторлық кригинг әдісі арқылы алынған фациялар кубының кеңістіктік таралуы

Petrel бағдарламасында индикаторлық кригинг әдісі қолданылып, ұңғымалар арасындағы кеңістікте фациялар мәндері таратылып, нәтижесінде қабаттың литологиялық біртексіздігі мен коллектор аймақтарының кеңістіктік таралуы визуалды түрде көрсетілді (сурет 2).

Құрылған фациялық кубта параметрлердің мәндері 0-ден 1-ге дейін өзгеріп отырды, бұл модельденетін аумақ көлемін коллектор және коллектор емес аймақтарға бөлуге мүмкіндік берді.

Кеуектілік кубын құру. Кеуектілік және өткізгіштік параметрлері геостатистикалық әдістер негізінде анықталып, модель торының сәйкес ұяшықтарына енгізілді.

Кеуектілік кубының құрылу сапасын бақылау үшін гистограммалар қолданылды. Сандық модельдеу нәтижелерін талдау кен орындарын тиімді игеруде маңызды рөл атқарады [4, 9]. Олардың көмегімен бастапқы, орташа және GMS деректерінің нәтижелерін салыстыруға мүмкіндік туды [1, 2].

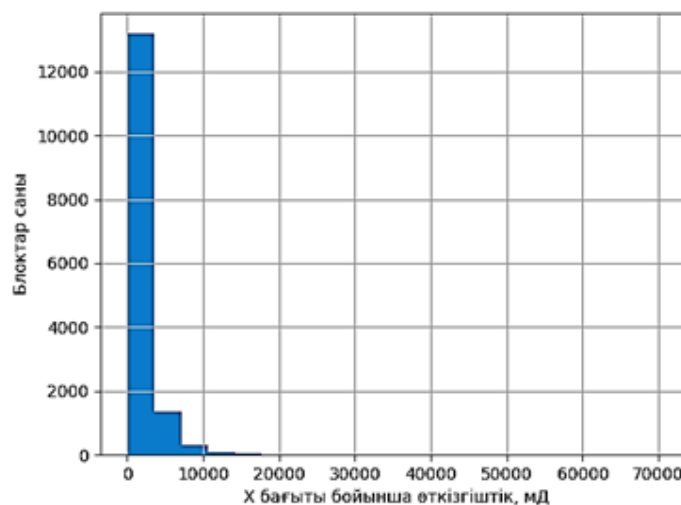
Батыс учаскесі үшін секторлық гидродинамикалық модель геологиялық модель негізінде барлық құрылымдық элементтер, петрофизикалық қасиеттер және геологиялық біртектіліктер сақтала отырып құрылды.

Гидродинамикалық модель Rock Flow Dynamics компаниясының tNavigator бағдарламалық кешенінде құрылды.

Алынған аналитикалық тәуелділіктер tNavigator бағдарламасының есептеу модуліне параметрлік функциялар түрінде енгізіліп, нәтижелердің дұрыстығы гидродинамикалық модельдеу деректерімен ұңғыма дебиті мен қысымның таралуы бойынша салыстыру арқылы тексерілді.

Есептеулерде жылулық опциясы қосылған құрама керн (E300) пайдаланылды, себебі зерттеліп отырған учаскеде ұңғымаларға бу-жылулық өңдеу (ПТВО) жүргізіліп, бу айдау процесі қолданылған.

Сұйықтардың қасиеттері. Секторлық модельде мұнай тұтқырлығының температураға тәуелділігі ескерілген екі компонентті PVT-модель пайдаланылды.



Сурет 3 – Ұңғымалар арасындағы кеңістікте фациялардың үздіксіз кубы мәндерінің таралуы үшін

### Нәтижелер және талқылау

Осылайша, стационарлық фильтрация жағдайында деформацияланатын шектеулі шеңберлі қабаттағы горизонталды ұңғымаға сұйықтың келуін анықтауға арналған есеп шешіліп, оған сәйкес формула шығарылды.

(1)–(3) формулалар негізінде горизонталды ұңғымаға келетін массалық ағынның мәндері есептелді.

(3) формуланың дұрыстығын бағалау мақсатында алынған нәтижелер ұқсас аналитикалық формулалармен және сандық модельдеу нәтижелерімен салыстырылды.

Қабат жыныстарының деформациялық қасиеттерін есептеу (2)–(3) формулалар негізінде жүргізілді. (2) формула тиімді қысымның өзгеруіне байланысты өткізгіштіктің өзгерісін анықтауға мүмкіндік береді, ал (3) формула деформация коэффициентін ескере отырып, массалық ағынның нақты мәнін есептеуге қолданылды.

Есептеулер барысында қабаттың деформация коэффициенті  $\beta = 0,002–0,006$  1/МПа аралығында қабылданды.

Алынған нәтижелер деформация әсерін ескермейтін классикалық модельдермен салыстырылып, деформацияны ескеретін модельдің нақты жағдайларға жақсы сәйкес келетінін көрсетті.

#### Кесте 6 – Қабат деформациясының есептік нәтижелері

Параметр	Белгіленуі	Мәні	Өлшем бірлігі
Деформация коэффициенті	$\beta$	0.002–0.006	1/МПа
Тиімді қысым өзгерісі	$\Delta P$	2–6	МПа
Өткізгіштік өзгерісі	$\Delta k$	5–12	%
Массалық ағын өзгерісі	$\Delta q_m$	4–9	%

Салыстыру үшін классикалық Дарси заңына негізделген модель және tNavigator бағдарламасында алынған сандық нәтижелер пайдаланылды.

Салыстыру нәтижелері көрсеткендей, (3) формула бойынша есептелген массалық ағын мәндері классикалық модельдер нәтижелерімен жақсы сәйкестік көрсетті. Айырмашылық шамасы 3–5 % аралығында болды, бұл ұсынылған аналитикалық әдістеменің жеткілікті дәлдігін көрсетеді.

#### Кесте 7 – Аналитикалық және бағдарламалық есептеу нәтижелерін салыстыру

L, м	$q_m$ (7-формула), кг/с	$q_m$ (Дарси моделі), кг/с	$q_m$ (tNavigator), кг/с	Айырмашылық, %
600	12.4	12.1	12.0	3.2
800	15.8	15.4	15.2	3.8
1000	19.6	19.1	18.9	3.6
1200	23.9	23.4	23.1	3.3

Ұсынылған (3) формула бойынша алынған массалық ағын мәндері классикалық Дарси моделі және tNavigator бағдарламасында алынған нәтижелермен салыстырылды. Салыстыру нәтижелері кестеде көрсетілген. Нәтижелердің айырмашылығы 3–5% аралығында болғаны ұсынылған аналитикалық әдістеменің жеткілікті дәлдігін көрсетеді.

(3) формула бойынша алынған массалық ағын мәндері классикалық Дарси моделі және tNavigator бағдарламасында алынған нәтижелермен салыстырылды. Салыстыру нәтижелері 7-кестеде келтірілген. Нәтижелердің өзара сәйкестігі ұсынылған әдістеменің жоғары дәлдігін көрсетеді.

Алынған нәтижелердің салыстырмалы талдауы ұсынылған әдістеменің деформацияланатын коллекторлар жағдайында қолдануға жарамды екенін және оның инженерлік есептеулерде тиімді пайдаланылуы мүмкін екенін көрсетті.

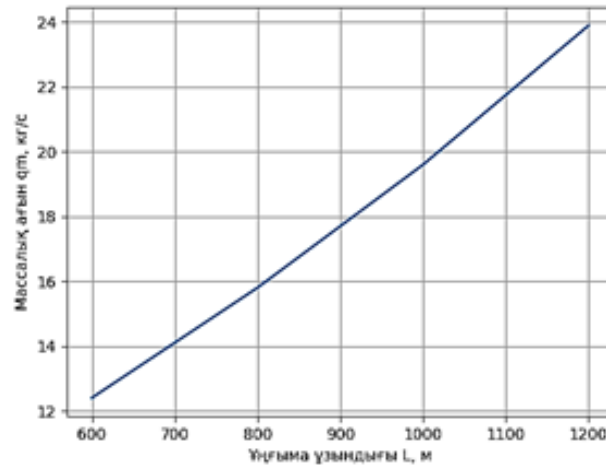
Алынған формулалардың практикалық қолданылуын көрсету мақсатында (1)–(3) теңдеулер негізінде нақты есептеу жүргізілді. Есептеу барысында Z кен орны үшін қабылданған бастапқы параметрлер және ұңғыма параметрлері пайдаланылды.

Есептеу алгоритмі келесі ретпен орындалды: алдымен қабат қысымы, өткізгіштік және ұңғыма геометриясына байланысты тиімді қысым анықталды. Содан кейін (2)–(3) формула-

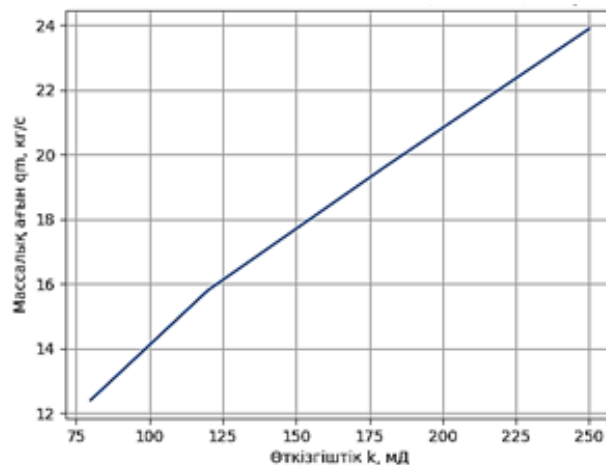
лар арқылы қабаттың деформациялық қасиеттерін ескеретін өткізгіштік мәндері есептелді. Осы параметрлер негізінде (1) формула бойынша горизонталды ұңғымаға келетін массалық ағын шамасы анықталды.

Алынған нәтижелер tNavigator бағдарламасында жүргізілген сандық модельдеу нәтижелерімен салыстырылды. Салыстыру нәтижесінде аналитикалық есептеулер мен сандық модель нәтижелерінің өзара сәйкестігі анықталды, бұл ұсынылған әдістеменің дұрыстығын және практикалық қолдануға жарамдылығын дәлелдейді.

Массалық ағынның өзгерісі ұңғыма ұзындығына, қабат өткізгіштігіне және қысымға тәуелді екендігі анықталды. Бұл тәуелділіктер 4–6-суреттерде график түрінде көрсетілген.

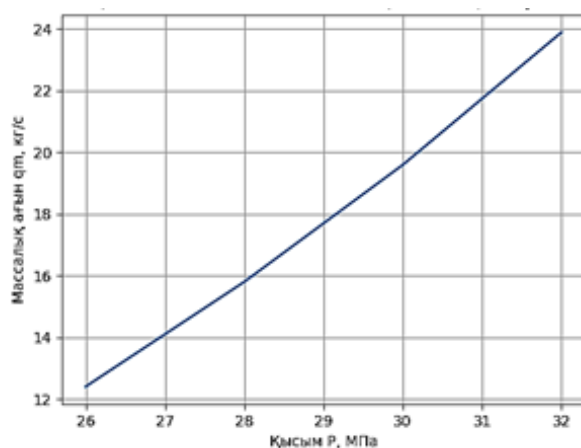


Сурет 4 – Горизонталды ұңғыма ұзындығына байланысты массалық ағынның өзгерісі



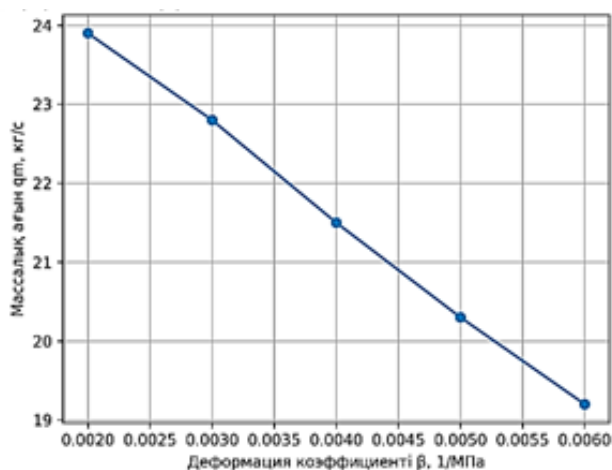
Сурет 5 – Қабат өткізгіштігіне байланысты массалық ағынның өзгерісі

Алынған аналитикалық формулалар негізінде горизонталды ұңғымаға келетін массалық ағынның есептік мәндері анықталды. Есептеу нәтижелері қабат параметрлері мен ұңғыма геометриялық сипаттамаларына тәуелді түрде талданды. Ұңғыма ұзындығының, қабат өткізгіштігінің және қабат қысымының артуы массалық ағынның ұлғаюына әкелетіні анықталды. Горизонталды ұңғыма ұзындығына байланысты массалық ағынның өзгерісі 4-суретте көрсетілген. Өткізгіштік пен қысым параметрлерінің әсері сәйкесінше 5 және 6 - суреттерде келтірілген.



Сурет 6 – Қабат қысымына байланысты массалық ағынның өзгерісі

Алынған нәтижелер деформацияланатын қабаттарда фильтрация процестерінің күрделі сипатын көрсетеді [8, 10].

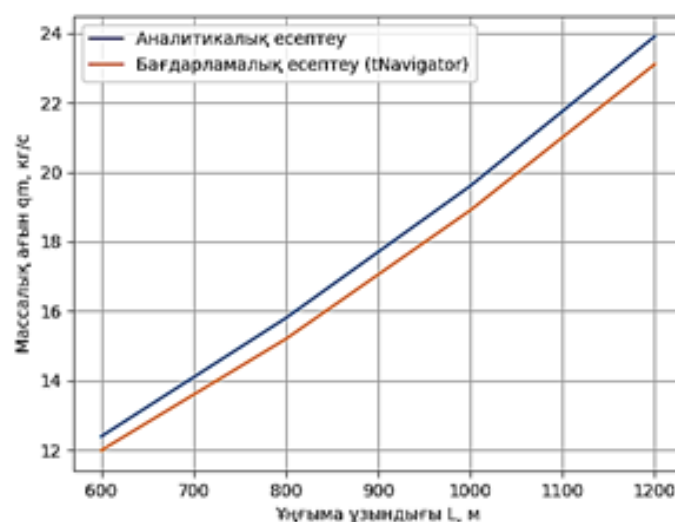


Сурет 7 – Деформация коэффициентіне байланысты массалық ағынның өзгерісі

Деформация коэффициентінің массалық ағынға әсерін бағалау мақсатында  $\beta$  параметрінің әртүрлі мәндері үшін есептеулер жүргізілді. Нәтижелер көрсеткендей, деформация коэффициенті  $\beta = 0,002-0,006$  1/МПа аралығында өзгерген кезде массалық ағын шамамен 4–12 % төмендейді.

Алынған нәтижелер горизонталды ұңғымалардың ұзындығы артқан сайын массалық ағынның ұлғаюын және қабат қысымының төмендеуі кезінде жыныстардың деформациясының күшеюін көрсетеді. Сонымен қатар өткізгіштік мәндерінің өзгеруі ағын қарқындылығына тікелей әсер ететіні анықталды.

Ұсынылған әдістеме бойынша алынған есептік нәтижелер мұнай қабаттарындағы қысымның таралу заңдылықтарын және горизонталды ұңғымалардың өнімділігін бағалау үшін қолдануға жарамды екендігін көрсетті.



Сурет 8 – Аналитикалық және бағдарламалық есептеу нәтижелерін салыстыру

Аналитикалық формулалар бойынша алынған нәтижелер мен tNavigator бағдарламасында алынған сандық модельдеу нәтижелерінің салыстырмасы 8 -суретте көрсетілген. Нәтижелердің өзара сәйкестігі ұсынылған әдістеменің дұрыстығын дәлелдейді.

Зерттеудің негізгі мақсаты деформацияланатын изотропты және анизотропты қабаттарда горизонталды ұңғымалардың өнімділігін анықтау әдістерін әзірлеу болып табылады. Осы мақсатта қабаттың қалыңдығы, өткізгіштік бойынша анизотропиясы, ұңғыма орналасуы және фильтрация режимдерінің әсері математикалық модельдеу әдістері негізінде зерттелді. [6, 9].

Горизонталды ұңғымалардың тиімділігі геологиялық және технологиялық факторлардың кешенді әсеріне байланысты анықталатыны есептеулер нәтижесінде дәлелденді. Атап айтқанда, қабат өткізгіштігінің жоғарылауы сұйық қозғалысына кедергінің азаюына әкеліп, массалық ағынның 40–45 % дейін артуына ықпал етеді. Ұңғыма ұзындығының 600 м-ден 1200 м-ге дейін ұлғаюы фильтрациялық аймақтың кеңеюіне байланысты массалық ағынның шамамен 45–50 % өсуіне алып келетіні анықталды. Сонымен қатар қабат қысымының артуы ағынның қозғаушы күшін жоғарылатып, массалық ағынның 30–35 % ұлғаюына әсер етеді. Ал қабаттың деформациялық қасиеттерінің күшеюі өткізгіштік параметрлерінің төмендеуіне байланысты массалық ағынның 5–12 % азаюына алып келетіні байқалды.

### Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде деформацияланатын қабаттар жағдайында горизонталды ұңғымалардың өнімділігін анықтауға арналған аналитикалық модель ұсынылды. Алынған нәтижелер сандық модельдеу нәтижелерімен жақсы сәйкестік көрсетті. Ұсынылған әдістеме инженерлік есептеулерде қолдануға жарамды екендігі дәлелденді. [3, 7, 10].

### ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Imansakipova, Z.B., Buktukov, N.S., Imansakipova, B.B. Pressure distribution in the oil reservoir in a two-dimensional plane. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 38–45 (2023).
- 2 Bimagambetov, K.B., Logvinenko, A., Tuzelbayeva, S.R. Experimental studies of cross-linked polymer systems. *News of NAS RK. Series of Geology and Technical Sciences*, 4(448), 50–58 (2021).
- 3 Buktukov, N., Mergenov, M. Improvement of oil field development using enhanced oil recovery methods. *Naukovyi Visnyk NHU*, 6, 23–28 (2021).

4 Akhmetov, S.M., Suyungariyev, G.E. Monitoring the current condition of oil recovery in Western Kazakhstan. *Journal of Applied Engineering Science*, 19(4), 1099–1107 (2021).

5 Akhmetov, N., Mardanova, L. Experimental support of polymer flooding technology. *Periodico Tche Quimica*, 17(35), 663–677 (2020).

6 Joshi, S.D. Advances in horizontal well technology and applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 178, 100–112 (2019).

7 Alvarado, V., Manrique, E. Enhanced oil recovery: current status and opportunities. *SPE Journal*, 23(2), 420–432 (2018).

**<sup>1</sup>Сулейменова Р.Т.,**

PhD, ORCID ID: 0000-0001-7995-5560,

e-mail: raika\_83@mail.ru

**<sup>1\*</sup>Мукамбеткалиева А.Н.**

докторант, ORCID ID: 0000-0003-2236-0333,

\*e-mail: ainash\_m\_89@mail.ru

**<sup>1</sup>Жанай М.А.**

докторант, ORCID ID: 0009-0005-6750-139X,

e-mail: m.zhanai25@aogu.edu.kz

**<sup>1</sup>Құлмағанбет Қ.**

магистрант, ORCID ID: 0009-0009-4656-9589,

e-mail: darkhan.muratov.95@bk.ru

**<sup>1</sup>Жилисбаев Г.Б.**

магистрант, ORCID ID: 0009-0007-3163-1218,

e-mail: orazkhanly@inbox.ru

**<sup>1</sup>Амиров С.С.**

магистрант, ORCID ID: 0009-0001-3371-3360,

e-mail: toregali.serik@bk.ru

<sup>1</sup>Университет нефти и газа имени С. Утебаева, г. Атырау, Казахстан

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В НЕФТЯНЫХ ПЛАСТАХ И ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ Z**

### **Аннотация**

В глубоко залегающих коллекторах изменения внутривертевого давления в процессе эксплуатации нередко приводит к тому, что разность горного и внутривертевого давлений достигает величин, достаточных для деформации скелета многих пород, сокращения числа и диаметра открытых пор, что приводит к существенному изменению емкостных и фильтрационных характеристик пород коллекторов. Естественно ожидать, что в этих условиях характер притока флюидов к горизонтальным скважинам будет отличаться от такового в коллекторах, залегающих на небольших глубинах. В связи с этим назрела необходимость в развитии моделирования фильтрационных процессов в условиях разработки горизонтальными скважинами глубокозалегающих месторождений, сложенных трещиноватыми и деформируемыми коллекторами. Поэтому проведение исследований, направленных на создание методов определения производительности горизонтальных скважин, работающих в условиях деформируемых коллекторов, становится актуальной научно-практической задачей. Статья посвящена усовершенствованию методики и анализу гидродинамических исследований процессов фильтрации жидкостей в деформируемых однородных и однородно-анизотропных пластах при эксплуатации их горизонтальными и вертикальными скважинами. Крупнейшие месторождения Казахстана – Z, долгое время обеспечивающие необходимые уровни добычи нефти, вступают в завершающую стадию разработки. В последние годы число месторождений с трудно извлекаемыми остаточными запасами нефти в подгазовых зонах, низкопроницаемых коллекторах, а также в пластах с высоковязкими нефтями, осложненными наличием разломов, активных подошвенных вод резко увеличилось. Эффективная разработка таких объектов не может быть обеспечена традиционными технологиями эксплуатации скважин.

В настоящее время разработка нефтяных и газовых месторождений с помощью горизонтальных скважин является одним из самых приоритетных направлений научно-технического процесса в отрасли вовлечения в промышленное освоение трудноизвлекаемых запасов нефти и газа.

**Ключевые слова:** месторождение, исследование, скважина, производительность, нефтяной пласт, математическая модель.

**<sup>1</sup>Suleimenova R.T.,**

PhD, ORCID ID: 0000-0001-7995-5560

e-mail: raika\_83@mail.ru

**<sup>1\*</sup>Mukambetkaliyeva A.N.,**

PhD student, ORCID ID: 0000-0003-2236-0333

\*e-mail: ainash\_m\_89@mail.ru

**<sup>1</sup>Zhanai M.A.,**

PhD student, ORCID ID: 0009-0005-6750-139X

e-mail: m.zhanai25@aogu.edu.kz

**<sup>1</sup>Kulmaganbet K.,**

Master's student, ORCID ID: 0009-0009-4656-9589

e-mail: darkhan.muratov.95@bk.ru

**<sup>1</sup>Zhilisbayev G.B.,**

Master's student, ORCID ID: 0009-0007-3163-1218

e-mail: orazkhanly@inbox.ru

**<sup>1</sup>Amirov S.S.,**

Master's student, ORCID ID: 0009-0001-3371-3360

e-mail: toregali.serik@bk.ru

1S. Utebayev Oil and Gas University, Atyrau, Kazakhstan

## STUDY OF PRESSURE DISTRIBUTION IN OIL RESERVOIRS AND THE INFLUENCE OF DEFORMATION CHARACTERISTICS USING THE EXAMPLE OF FIELD Z

### Abstract

In deep reservoirs, changes in pore pressure during field development often lead to a situation where the difference between overburden pressure and pore pressure reaches values sufficient to cause deformation of the rock skeleton. This results in a reduction in both the number and diameter of open pores, leading to significant changes in the storage capacity and filtration properties of reservoir rocks. Under such conditions, the nature of fluid inflow to horizontal wells is expected to differ significantly from that observed in reservoirs located at shallow depths. In this regard, there is a growing need to develop models of filtration processes for deep reservoirs composed of fractured and deformable formations developed by horizontal wells. Therefore, conducting research aimed at developing methods for determining the productivity of horizontal wells operating in deformable reservoirs has become an important scientific and practical task. This article is devoted to improving the methodology and analyzing hydrodynamic studies of fluid filtration processes in deformable homogeneous and homogeneous-anisotropic reservoirs during their exploitation by horizontal and vertical wells. One of the largest oil fields in Kazakhstan – field Z, which has long ensured the required levels of oil production, is entering the final stage of development. In recent years, the number of fields with hard-to-recover residual oil reserves in gas-cap zones, low-permeability reservoirs, as well as in formations containing highly viscous oils complicated by faults and active bottom waters has significantly increased. The effective development of such reservoirs cannot be ensured using conventional well operation technologies. Currently, the development of oil and gas fields using horizontal wells is one of the most promising directions of scientific and technological progress aimed at involving hard-to-recover oil and gas reserves in industrial production.

**Keywords:** field, research, well, productivity, oil reservoir, mathematical model.

*Received March 20, 2026; revised April 24, 2026; accepted June 4, 2026.*