ҒТАМР 52.47.17 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1268**

АНИЗОТРОПИЯ МЕН ҚАБАТТЫҢ ДЕФОРМАЦИЯЛАНУЫ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ КӨЛДЕНЕҢ ҰҢҒЫМАНЫҢ ДЕБИТІ

М.Д. Бисенгалиев, Ж.К. Зайдемова, Ж.Б. Шаяхметова, А.С. Каримова, Г.Е. Имангалиева, Ж.У. Икласова

С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазахстан

Корреспондент-автор: maks_bisengali@mail.ru

Мақалада деформацияланатын коллекторы бар шекті изотропты айналмалы қабатта орналасқан көлденең ұңғымаға стационарлық ағынның аналитикалық және сандық талдауы ұсынылған. Өткізгіштіктің өзгеруіне жыныстардың деформация әсерін ескеретін модель жасалды, бұл ұңғыма ағынының дебитін нақтырақ бағалауға мүмкіндік берді Көлденең ұңғыма оқпанының ұзындығының, оның шатыр мен түбіне қатысты орналасуының, қабат қалыңдығың, сондай-ақ ұңғымалар батареясының жұмысындағы интерференцияның әсері зерттелді.

Оқпан ұзындығының қабат қалыңдығына белгілі бір қатынасы кезінде көлденең ұңғымаға ағын тік көрсеткіштерден асып түсетіні анықталды. Оңтайлы әдіс – бұл ағынға кедергі минималды болатын қабаттың симметриялы ашылуы.

Жыныстардың түріне байланысты коллектордың деформациялануы дебитті 21,6%-ға дейін төмендете алатыны көрсетілген. Алынған тәуелділіктер мен графоталдау арақатынастары көлденең ұңғымалардың жобалық параметрлерін оңтайландыру және пайдаланудың әртүрлі кезеңдерінде кен орындарын игеруге техникалық-экономикалық бағалау жүргізу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: көлденең ұңғыма, деформацияланатын коллектор, сұйықтық ағыны, өткізгіштік, гидродинамикалық модель, интерференция, параметрлерді оңтайландыру.

ДЕБИТ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ С УЧЁТОМ АНИЗОТРОПИИ И ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ПЛАСТА

М.Д. Бисенгалиев, Ж.К. Зайдемова, Ж.Б. Шаяхметова, А.С. Каримова, Г.Е. Имангалиева, Ж.У. Икласова

Атырауский университет нефти и газа им. Сафи Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: maks_bisengali@mail.ru

В статье представлен аналитический и численный анализ стационарного притока к горизонтальной скважине, расположенной в конечном изотропном круговом пласте с деформируемым коллектором. Разработана модель, учитывающая влияние деформации породы на изменение проницаемости, что позволило получить более реалистичные оценки дебита скважин. Исследовано влияние длины горизонтального ствола, его положения относительно кровли и подошвы, мощности пласта, а также интерференции при работе батареи скважин.У становлено, что при определённом соотношении длины ствола к мощности пласта приток к горизонтальной скважине превышает показатели вертикальной. Оптимальным является симметричное вскрытие пласта, при котором сопротивление притоку минимально.

Показано, что деформируемость коллектора способна снижать дебит до 21,6% в зависимости от типа породы. Полученные зависимости и графоаналитические соотношения могут использоваться для технико-экономической оценки и оптимизации параметров горизонтальных скважин при проектировании и эксплуатации месторождений нефти и газа.

Ключевые слова: горизонтальная скважина, деформируемый коллектор, приток флюида, проницаемость, гидродинамическая модель, интерференция, оптимизация параметров.

FLOW RATE OF A HORIZONTAL WELL TAKING INTO ACCOUNT ANISOTROPY AND DEFORMABILITY OF THE FORMATION

M.D. Bissengaliyev, Zh.K. Zaidemova, Zh.B. Shayakhmetova, A.S. Karimova, G.T. Imangalieva, Zh.U. Iklassova

Safi Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan,
e-mail: maks_bisengali@mail.ru

The article presents an analytical and numerical analysis of steady-state inflow to a horizontal well located in a finite isotropic circular formation with a deformable reservoir. A model has been developed that takes into account the effect of rock deformation on permeability changes, which has made it possible to obtain more realistic estimates of well flow rates. The influence of the length of the horizontal wellbore, its position relative to the roof and floor, the thickness of the formation, and interference during the operation of a well battery are investigated.

It has been established that at a certain ratio of the length of the wellbore to the thickness of the formation, the inflow to a horizontal well exceeds that of a vertical well. Symmetrical opening of the formation is optimal, as it minimizes resistance to inflow.

It has been shown that the deformability of the reservoir can reduce the flow rate by up to 21.6%, depending on the type of rock. The obtained dependencies and graphical-analytical ratios can be used for technical and economic evaluation and optimization of horizontal well parameters in the design and operation of oil and gas fields.

Keywords: horizontal well, deformable reservoir, fluid inflow, permeability, hydrodynamic model, interference, parameter optimization.

Кіріспе. Әлемдік ғылыми басылымдарда көлденең ұңғымалардың өнімділігін анықтауға арналған формулалар белгілі, олар [1- 4] және т.б. еңбектерде ұсынылған. Бұл формулалардың барлығы сұйықтықты сүзудің тұрақты режимі үшін жазық есептерді шешуде және қабаттың деформациялануын есепке алмай, тігінен ($к_z$) және көлденеңінен ($к_r$) өткізгіштік теңдігі жағдайында шығарылды. Көптеген зерттеушілер [5-9] қабат бойындағы бойлық ұңғымаларға қолданған кезде қабаттың анизотропиясын ескеру міндетті деп санайды.

Біртекті анизотропты қабаттар жағдайлары үшін белгілі ағын формулаларының модификацияларын қабаттың тиімді өткізгіштік коэффициентін енгізу арқылы алуға болады $k_{эф} = \sqrt{k_z \cdot k_r}$ [5,7,8].

Дөңгелек біртекті анизотропты деформацияланатын қабатта көлденең ұңғымаға ағынды анықтау кезінде, анизотропия мен қабаттың деформациялануы көлденең ұңғыма ағынына жеке және біріктірілген әсерінің сандық бағасы беріледі.

Егер k_r^0 және k_z^0 - бастапқы қабат қысымындағы қабаттың өткізгіштігінің мәндері радиалды және тік бағытта болса, және қысымға байланысты өткізгіштіктің өзгеру заңы әрбір координата үшін бірдей болса, біз мынаны аламыз:

$$Q_r = \frac{2\pi\rho h k^0}{\mu} \cdot \frac{\left\{ a(P_k - P_c)\left[1 - \frac{\beta}{2}(P_k - P_c)\right]\right\}\overline{k_r^0}}{ln\frac{3.1422R_k}{l} + \frac{h}{l\sqrt{\chi}} ln\left(\frac{h}{2\pi R_c\sqrt{\chi}} \cdot \frac{1}{\sin\frac{\pi z_0}{h}}\right)} \quad (1)$$

мұндағы, $\overline{k_r^0} = \frac{k_r^0}{k_0}$; $\chi = \frac{k_z^0}{k_r^0}$; $k^0 = 10^{-12}м^2$ - өткізгіштік, бұл k_z және k_r қатынасының ұңғымаға түсетін суға әсерін өлшемсіз бағалауға мүмкіндік береді; ρ және μ - сұйықтықтың ты-

ғыздығы мен тұтқырлығы; R_k және R_c - қабат пен ұңғыма контурының радиустары; P_k және P_c - қабат контурындағы және ұңғыма түбіндегі қысым функциясының мәндері; h - қабат қалыңдығы; l - көлденең оқпанның ұзындығы; k_0 - қабаттың контурындағы қысым P_k кезіндегі өткізгіштік; z_0 - ұңғыма оқпанынан қабаттың түбіне дейінгі қашықтық; α және β - жұмыстан белгілі қабат жыныстарының деформациясы процесінде өткізгіштіктің өзгеруін сипаттайтын коэффициенттер [5].

Материалдар мен әдістер. Қабат жыныстарының анизотропиясы мен деформациялануының ағынға әсерін бағалау үшін (1) формула бойынша есептеулер орташа және нашар сұрыпталған құмтастардан, жұқа және ұсақ түйіршікті, далалық шпатты мен кварцты (кварц 25-60%) алевриттермен, орташа кеуекті (10-20%) саз мөлшері 20-35% болатын, қалыңдығы 7,5 м және 60 м болатын қабаттардағы көлденең оқпанның ұзындығы 3000 м дейін болатын ұңғымалар үшін жүргізілді, бұл үшін $\alpha = 0,958899$ и $\beta = 0,0096465$.

Есептеу нәтижелерін талдау қабаттың өткізгіштік анизотропиясы көлденең ұңғымалардың өнімділігіне теріс және оң әсер етуі мүмкін екенін көрсетеді.

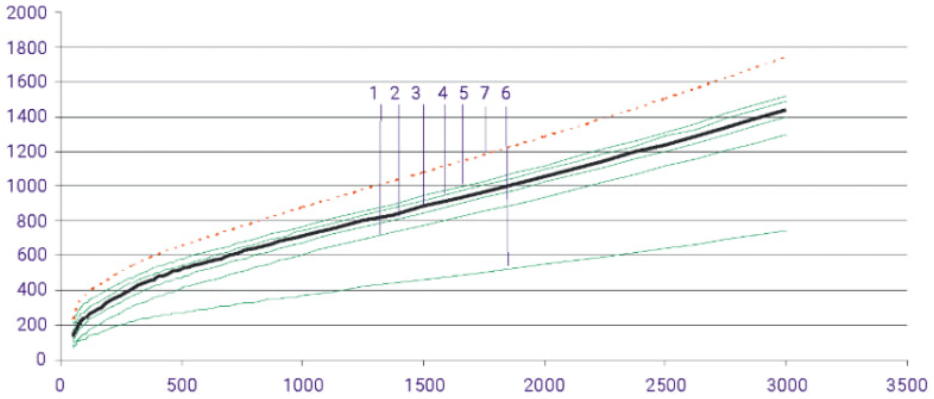
Изотропты қабаттың өткізгіштігіне тең көлденең өткізгіштігі k_r бар қабатта көлденең ұңғыманың дебиті $k_z > k_r$ кезінде біртекті қабатта бірдей ұңғыманың дебитінен үлкен және $k_z > k_r$ кезінде аз болады (1-кесте: қабаттың қуаты $h = 7,5$ м және 1-суреттегі 1-5 қисықтар $h = 60$ м кезінде).

Кез келген қалыңдықтағы қабаттарда анизотропияның ұңғыма өнімділігіне әсері бірдей заңдылыққа бағынады және тік және көлденең өткізгіштіктердің арақатынасына қарамастан, көлденең ұңғыма оқпанының ұзындығының артуымен азаяды (2-сурет).

Алайда, анизотропияның ағынға әсер ету дәрежесі қабаттың қалыңдығына айтарлықтай байланысты. Жұқа қабаттарда бұл әсер соншалықты маңызды емес, сондықтан оны іс жүзінде ескермеу мүмкін. Осылайша, қалыңдығы 7,5 м болатын қабатта, есептеулер үшін қабылданған шарттарда, 0,2-ден 5-ке дейінгі диапазонда, көлденең оқпан ұзындығы 50 м болатын ұңғыманың дебиті изотропты қабаттағы ұқсас ұңғыманың дебитімен салыстырғанда тек 1,49-4,86%-ға өзгереді, ал көлденең оқпан ұзындығы 3000 м-ге дейін ұлғаюымен ол одан да көп 0,04-0,38% мәніне дейін төмендейді (1 және 1а қисықтары).

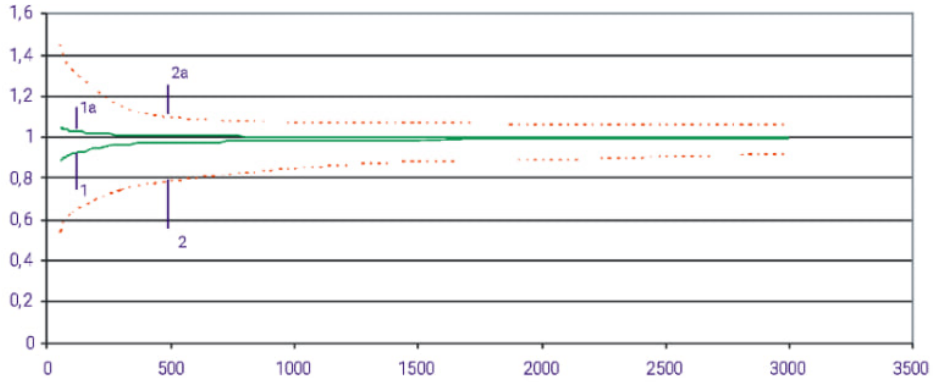
1-кесте. Қалыңдығы h=7,5 м болатын қабаттағы тік өткізгіштіктің көлденең ұңғымаға қатынасының әртүрлі мәндері кезінде көлденең оқпанның ұзындығына байланысты ұңғыма өнімділігінің өзгеруі

Ұңғымаоқпаны ұзындығы, l, м $\chi = \frac{k_{z_0}}{k_{r_0}}$	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0
50	35,35	38,39	39,94	40,87	41,88
100	43,95	46,26	47,37	48,11	48,7
300	61,73	63,19	63,86	64,22	64,67
500	73,37	74,8	75,37	75,7	76,04
1000	97,52	98,96	99,09	99,31	99,66
1500	119,57	120,68	121,14	121,37	121,71
2000	142,06	143,19	143,71	144,06	144,31
2500	166,14	167,38	167,95	167,31	168,6
3000	192,7	194,09	194,72	195,12	195,46



1 - сурет. Ұңғыманың өнімділігі көлденең оқпан ұзындығының функциясы ретінде әртүрлі тік өткізгіштік мәндерінде:

1-5 – сәйкесінше χ=0.2; 0.5; 1,0; 2.0; 5,0 и h=60 м; 6 – χ=2; h=60 м; 7 – χ=5; h=60 м; жыныстардың деформациясын ескермегенде



2-сурет. Анизотропты және изотропты қабаттардағы дебиттердің көлденең ұңғыма оқпанының ұзындығына қатынасы:

1; 2 – χ=0.2; 1a; 2a – χ=5; ----- қабат қалыңдығы h=60 м; h=7.5 м

Үлкен қалыңдықтағы қабаттарда, әсіресе көлденең оқпанның ұзындығының аз мәндерінде ұңғыманың өнімділігі анизотропияға тәуелді, сондықтан оның әсерін елемеуге болмайды. Қабат қалыңдығы 60 м және көлденең оқпанның ұзындығы 50 м болғанда, ұңғыма өнімділігі χ мәнге байланысты 45,0-47,0%-ға өзгереді. Көлденең ұңғыма оқпанының ұзындығы 3000 м-ге дейін ұлғаюымен бұл өзгеріс 4,35–7,30%-ға дейін төмендейді, абсолютті мәнде ұңғыма ағынының дебиті өзгеруі үлкен болады (2 және 2а қисықтары).

Тік өткізгіштігі төмен қабаттардағы көлденең ұңғыманың дебитінің төмендеуі көлденең оқпан ұзындығының ұлғаюына байланысты болуы мүмкін. Осылайша, қалыңдығы бірдей 60 м және $\chi = 0,2$ болатын біртекті және анизотропты қабаттардағы ұңғымалардың дебиті, егер анизотропты қабаттағы көлденең ұңғыма оқпаны изотропты қабаттағы ұзындығы 1500 м ұңғымадан 340 м ұзын болса, тең болады.

Сондай-ақ, гидравликалық жаруды қолдана отырып, ұңғыма оқпанына перпендикуляр жарықтар жасау арқылы тік өткізгіштігі төмен қабаттардағы көлденең ұңғымалардың дебитін арттыруға болады.

Сондай-ақ, біз қарастырған ұңғыма оқпанының дөңгелек қабатта орналасу сұлбасында көлденең өткізгіштіктің төмендеуі көлденең ұңғыманың өнімділігіне тік өткізгіштіктің ұқсас өзге-

руіне қарағанда әлдеқайда көп әсер ететінін атап өткен жөн. Біркелкі қабаттағы ұңғыманың өнімділік кестесін сәйкестендіру арқылы бұған көз жеткізу оңай (1-суреттегі 3 қисық; $k_r = 150 \cdot 10^{-15} м^2$) анизотропты қабаттардағы ұқсас графиктермен $k_r = 150 \cdot 10^{-15} м^2$ және $\chi = 0,2$ (2 қисық) және $k_r = 75 \cdot 10^{-15} м^2$; $\chi = 2$; (6 қисық).

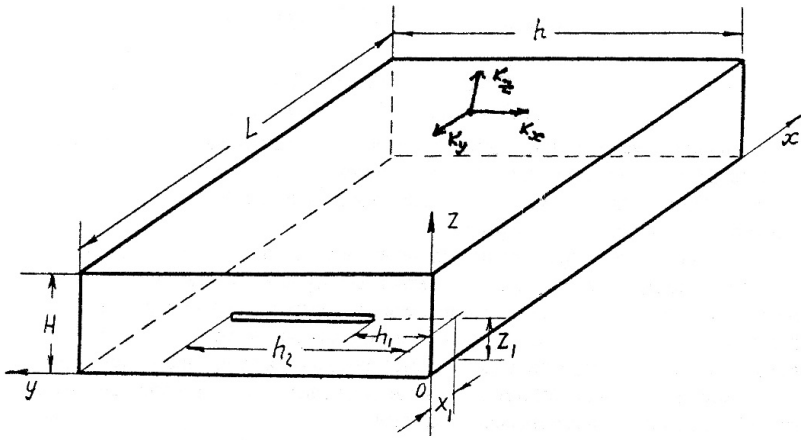
Жыныстардың деформациялануының көлденең ұңғыманың өнімділігіне әсерін бағалау үшін деформацияланбайтын жыныстармен қабаттарда бұрғыланған әртүрлі χ мәндері бар ұңғымалар үшін жоғарыда сипатталғандарға ұқсас есептеулер жүргізілді. Алынған нәтижелерді 1-суретте көрсету үшін (7-қисық) қалыңдығы 60 м, $k_r = 150 \cdot 10^{-15} м^2$ және $\chi = 5$ деформацияланбайтын қабаттағы ұңғымаға тәуелділік $Q_г = f(l)$ салынған. Ұқсас деформацияланатын қабат үшін 7-қисықты 5-қисықпен салыстыру көлденең ұңғымалардың өнімділігін есептеу қабаттың жыныстарының деформациялануын ескермей, жоғары нәтиже беретіндігін көрсетеді.

Ақырында, көлденең және жетілген тік ұңғымалардың дебиттері салыстырылды, олар ұқсас қабаттардың барлық қалыңдығын көрсетеді. Зерттеу барысында көлденең ұңғымалар үшін өнімділік коэффициенттерінің $\frac{Q_г}{Q_в}$ қатынасында кез-келген тік және көлденең өткізгіштік коэффициенттері жұқа қабаттарда әлдеқайда жоғары екендігі белгілі.

Қарапайым мысалда анизотропия тензорының осьтері координаталық X, Y және Z осьтерге сәйкес келеді делік (3-сурет). Сонда мәселе келесі теңдеуді шешу үшін:

$$K_x \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} K_y \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} K_z \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \frac{Q_\Gamma \mu}{\overline{\eta} h} [\sigma(y - h_1) - \sigma(y - h_2)] \delta(x - x_1) \delta(z - z_1) \qquad (2)$$

мұндағы, K_x, K_y, K_z - X, Y және Z осьтер бағытына сәйкес өткізгіштік мәндері бастапқы қабаттық қысым кезінде; $\delta(\tau)$ - Дирак функциясы; $\sigma(\tau)$ - Хевисайдтың бірлік функциясы.



3-сурет. Көлденең сызықтық ағыны бар қабат элементі

Соңғы шегінде Фурье түрлендіру косинусын екі рет қолдану және өңдеу формулалары келесідей: Есепті шешу үшін ұсынылған алгоритмді қолдана отырып, кезіндегі сұйықтық ағынына $L = h = 200м$, $H = 10м$ қабат өткізгіштігінің анизотропия мәндерінің өзгеруінің әсерін анықтау үшін көптүрлі есептеулер жүргізілді. Тікбұрышты пішінді қабат элементіндегі көлденең ұңғыманың орналасуының әртүрлі нұсқалары үшін зерттеулер жүргізілді.

Нәтежелер жене талқылау. Біз әртүрлі факторлардың сүзу кедергілеріне әсер етуінің салыстырмалы тәуелділіктерін берілген параметр үшін ерікті кедергінің ең кішіге қатынасы түрінде ұсындық, бұл координатасы $z_1 = 0$ қабат элементіне көлденең ұңғыма сүзгісін орналастыру

кезіндегі фильтрация кедергісінің бірдей кедергіге қатынасын бейнелейді, бірақ сүзгінің шатырға және негізге қатысты симметриялы орналасуымен, яғни $z_1 = 0.5H$ кезінде, яғни, сүзгі $y = 0$ координатасынан басталғанда, сүзгінің ортасы қабат элементінің тік симметрия осіне сәйкес келген кезде сүзгіні симметриялы орналастыру. Бұл жағдайда нұсқалар үшін өткізгіштік коэффициенті келесідей болды: $Kz_1 : Kz_2 : Kz_3 : Kz_4 = 0.1 : 0.5 : 1 : 10$ Осылайша, қарастырылған нұсқалардың үшіншісі біртекті қабатты, біріншісі және екіншісі тік өткізгіштігі нашарлаған нұсқаларды, ал төртіншісі жақсартылған тік өткізгіштікті білдіреді. Көріп отырғанымыздай, қабатты түбінде ашу көлденең ұңғымаға сұйықтық ағынына сүзілу кедергісін айтарлықтай арттырады. Сүзілуге кедергінің абсолютті өсуі ашылу дәрежесіне және тік өткізгіштікке айтарлықтай байланысты. Қабаттың ашылу дәрежесі неғұрлым жоғары болса, сүзгінің тік жазықтықтағы орналасуы мен тік өткізгіштігінің әсері соғұрлым аз болады. Сонымен, қарастырылған нұсқалардағы $\overline{\eta} = 0.1$ және $\overline{\eta} = 1.0$ максималды айырмашылықтар сәйкесінше 60% және 18,5%-дан асты. Тік өткізгіштіктің әсері біртекті қабатпен салыстырғанда оңай орнатылады. Тігінен өткізгіштіктің нашарлауы әрқашан сүзу кедергісінің өсуіне оның біркелкі өсуіне қарағанда көбірек әсер ететіні анықталды.

Бұл симметриялы ашылу кезіндегі $z_1 = 0.5H$ кедергі минималды болуына және оның төмендеуі асимметриялық ашылу кезіндегі төмендеу жылдамдығынан асып түсуіне байланысты. Сонымен қатар, бірдей тәуелділіктер анықталды, бірақ өткізгіштіктің әртүрлі мәндері үшін. Бұл жағдайда нұсқалардың өткізгіштіктері K_x бірбірімен келесідей байланысты болды: $Kx_1 : Kx_2 : Kx_3 : Kx_4 = 0.5 : 1 : 2 : 10$. Зерттеу барысында қабаттың өткізгіштігінің нашарлауы және бұл жағдайда оның біркелкі өсуіне қарағанда айтарлықтай үлкен әсер етеді. Жалпы алғанда, бұл жағдайда бұрын қарастырылған нұсқаның сапалық сипаттамалары сақталады. Сонымен қатар, зерттелген көлденең ұңғымаға ағынға салыстырмалы кедергіге K_x сандық әсері K_z-ға қарағанда айтарлықтай төмен.

Жүргізілген жұмыс барысында көлденең ұңғымаға ағын кедергісі басқа тең жағдайларда біртекті қабаттың кедергісіне берілген кедергінің қатынасы K_z ретінде салыстырмалы түрде ұсынылатыны анықталды. Көріп отырғанымыздай, K_z әсер айтарлықтай және неғұрлым көп болса, қабаттың салыстырмалы соғұрлым ашылуы аз болады ($\overline{\eta}$). Қарастырылып отырған процеске қабат қимасындағы көлденең ұңғының орналасуы да z_1 айтарлықтай әсер етеді. Осылайша, қарастырылып отырған мысалдағы минималды ашылу $\overline{\eta} = 0.1$ және максималды анизотропия $\overline{K_z} = 0.1$ болғанда, X осі бойымен өткізгіштіктің нашарлауы $z_1 = 0$ болатын біртекті қабатпен салыстырғанда сүзілу кедергісін 93%-ға, ал $z_1 = 0.5H$ болатын қабатпен салыстырғанда 51%-ға арттырады. $\overline{\eta} = 0.5$ және сол алдыңғы анизотропия кезінде көлденең ұңғымаға сұйықтық ағынына кедергінің байқалған жоғарылауы сәйкесінше 47% және 20% құрады.

Берілген қисықтарды талдау X бойындағы анизотропияның сүзілу кедергісіне айтарлықтай әсерін көрсетеді. Сонымен, $\overline{K_z} = 0.1$ және $\overline{\eta} = 0.1$ кезінде сүзілу кедергісі жоғары болады: $\overline{K_z} = 0.1$, z_1=0 кезінде 68.7%-ға, $z_1 = 0.5H$ кезінде 60,5%-ға жоғары. Бұрынғыдай, өткізгіштіктің төмендеуінің зерттелетін мөлшеріне оның біркелкі өсуіне қарағанда біршама үлкен әсер бар. Бұл жағдайда әсер ашылу дәрежесіне де $\overline{\eta}$ тән.

Біріншісі $\overline{\eta} \leq 0.3$ аралығын қамтиды, мұндағы өзгеріс кедергінің күрт өзгеруіне әкеледі. Екінші бөлім $0.3 \leq \overline{\eta} \leq 0.5$ аралығын қамтиды, мұнда әсер айтарлықтай. Соңында, $\overline{\eta} > 0.5$ аралығында, ашылу X осі бойымен анизотропты өткізгіштігі бар қабаттағы көлденең ұңғымаға сұйықтық ағынының мөлшеріне аз әсер етеді.

Әрі қарай, жоғарыда қарастырылған процесс зерттеледі, бірақ ось бойымен өткізгіштігі анизотропты "Y" қабатта. Мұнда сүзу кедергісі салыстырмалы түрде, K_y кезіндегі кедергінің біртекті түзілімнің кедергісіне қатынасы ретінде беріледі ($K_y = 1$). Зерттеу барысында. бір сипатты жағдай, қабаттың толық ашылуымен, Z_1 қарамастан, K_y өзгергіштігінің әсері жоғалады. Жалпы, ізденіс кезінде деректерін салы-

стыра отырып, K_yқарастырылып отырған процеске әсері өткізгіштігі бойынша анизотропияның басқа түрлеріне қарағанда әлдеқайда аз екенін көруге болады. Жүргізілген зерттеулер барысында қабаттың оның бүйірлік шекараларына қатысты симметриялы ашылуы бар көлденең ұңғыманың жұмысына анизотропияның әсері зерттелді. Бұл мақалада сол тапсырма қарастырылады, бірақ қабаттың асимметриялық ашылуы үшін. Бұл зерттеуде асимметрияның шекті дәрежесін талданды, онда сүзгі ағынының басталуы координаттар жүйесінің басталуымен сәйкес келеді, яғни x=0x = 0x=0 координаты бар қабат элементінің бүйір беті. Алынған нәтижелерді симметриялы ашуға арналған есептеу деректерімен салыстыру симметриялы емес ашу кезінде анизотропияның фильтрация процесіне әсері симметриялық жағдайға қарағанда әлдеқайда күштірек көрінетінін көрсетті.

Жалпы, K_y әсері, бұрынғыдай, басқа екі бағыттағы анизотропияларға қарағанда аз.

Жүргізілген зерттеулер барысында қабаттың ашылуының симметрия дәрежесінің көлденең ұңғыма ағынының сүзілу кедергісіне әсері анықталды. Алынған тәуелділіктер симметриялық кедергіге асимметриялық ашу кезіндегі қарсылықтың қатынасы ретінде берілген. Осылайша, есептелген мәндердің әрқайсысы симметриялық жағдаймен салыстырғанда асимметриялық ашу кезінде көлденең ұңғымаға ағын гидродинамикалық кедергісінің жоғарылау дәрежесін көрсетеді. Жалпы алғанда, анизотропияның әртүрлі дәрежелерінде, сондай-ақ осы параметрлердің шекті мәндерінде қарастырылған шарттарда асимметриялық ашылу әсері +36%-дан -10% аралығында өзгерді. Оң мәндер көлденең көлденең ұңғыма оқпанының қабат шатырына қарай жылжыған кезде кедергі жоғарылауын сипаттайды, ал теріс мәндер түбіне қарай жылжу кезінде оның төмендеуін сипаттайды. Бұл ағынды желілерінің қайта бөлінуіне және қабаттың қабырғаларына жақын қысым градиентінің өзгеруіне байланысты, бұл дренаж аймағының пішініне және ұңғыманың тиімділігіне айтарлықтай әсер етеді.

Қорытынды: Анизотропты өткізгіштігі бар жолақ тәрізді қабатқа енген көлденең ұңғыманың өнімділігін сұйықтықты үш өлшемді сүзгілеу кезінде оның өту дәрежесін ескере отырып анықтау үшін есептеу әдісі ұсынылады. Көлденең ұңғыманың өнімділігі ашу дәрежесі мен симметриясына, сондай-ақ қабат өткізгіштігінің анизотропиясына айтарлықтай тәуелді екені анықталды. Ақырғы изотропты және анизотропты деформацияланатын қабаттағы горизонталь ұңғымаға ағынның әзірленген математикалық моделі сүзу процестерін неғұрлым дәл сипаттауды қамтамасыз ететін гидродинамикалық және геомеханикалық факторлардың өзара әсерін ескереді. Жыныстардың деформациялануы дебитке айтарлықтай әсер ететіні көрсетілген: коллектордың қысылуының жоғарылауымен ұңғыманың өнімділігі қабаттың қасиеттеріне байланысты 21,6%-ға дейін төмендеуі мүмкін. Көлденең ұңғыма оқпанының оңтайлы гидродинамикалық жағдайы - бұл ағынға кедергі ең аз және ең жоғары дебит қамтамасыз етілетін қабаттың симметриялы ашылуы. Анизотропия мен деформацияның бірлескен әсері дебиттің өткізгіштікке сызықтық емес тәуелділігіне әкеледі, бірақ ағынның негізгі сапалық заңдылықтары сақталады. Алынған аналитикалық тәуелділіктер мен графоталдау қатынастары көлденең ұңғымалардың жобалық параметрлерін оңтайландыру және пайдаланудың әртүрлі кезеңдерінде кен орындарын игеруге техникалық-экономикалық бағалау жүргізу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Әдебиеттер

1. Sun E., Yang W., Peng Q., Meng P., Mu S. The Productivity Model of Horizontal Well Considering Acidification Effect in Anisotropic Reservoirs//of Engineering and Technology.- 2020.-Vol.8(1).-P.19-32. DOI 10.4236/wjet.2020.81003.

2. Roland I Nwonodi. A novel model for predicting the productivity index of horizontal/vertical wells

based on Darcy’ s law, drainage radius, and flow convergence // Heliyon. -2024.-Vil.10(13): e25073. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e25073.

3. Xinyang Guo, Shiging Cheng, Wenpreng Bai, Dingning Cai, Zexuan Xu, Yang Wang Productivity Prediction of Multilateral Horizontal Wells in Low-Permeability Gas Reservoirs Under Two-Phase Flow Conditions // Available to Purchase. Paper presented at the 58th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, Golden, Colorado, USA, June 2024. Paper Number: ARMA-P.0185. DOI 10.56952/ARMA-2024-0185.

4. Корепанов С.К. Прогнозирование размещения горизантальных и наклонно направленных скважин в зависимости от особенности геологического строения низкопрницаемого пласта ЮС-2// Недропользование. - 2024. - Т.24(4).- С.186-193. DOI 10.15593/2712-8008.2024.4.2.

5. Мухаметгалиев И.Д. Развитие технологий и технических средств бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин//Инфра-Инженерия. - 2024.-108 с. ISBN 978-5-9729-1737-2.

6. Wenqi Ke et al. A Transient Productivity Prediction Model for Horizontal Wells Coupled with Oil and Gas Two-Phase Seepage and Wellbore Flow//Processes.-2023.-Vol.11(7).-P.1-22. DOI 10.3390/pr11112012.

7. Попов И.П.,Томилов А.А, Казанцев Г.В., Инновационные технологии разработки нефтяных и газовых месторождений // Тюменский государственный нефтегазовый университет // Нефтепромысловое дело. - 2015. - №7. - С.19-22.

8. Li L., Xie M., Liu W., Dai J., Feng S., Luo D., Wang K., Gao Y., Huang R. A New Productivity Evaluation Method for Horizontal Wells in Offshore Low-Permeability Reservoir Based on Modified Theoretical Model//Processes. -2024.- Vol.12(12):2830. DOI 10.3390/pr12122830.

9. Шаяхметова Ж.Б., Бисенгалиев М.Д., Тулегенова О.Ш., Каримова А.С. Исследование стационарного притока к горизонтальной скважине в деформируемом коллекторе // Нефть и газ. - 2025. - № 3(147).- С.188-199.DOI: 10.37878/2708-0080/2025-3.19.

References

1. Sun E., Yang W., Peng Q., Meng P., Mu S. The Productivity Model of Horizontal Well Considering Acidification Effect in Anisotropic Reservoirs//of Engineering and Technology.- 2020.-Vol.8(1).-P.19-32. DOI 10.4236/wjet.2020.81003.

2. Roland I Nwonodi. A novel model for predicting the productivity index of horizontal/vertical wells based on Darcy’ s law, drainage radius, and flow convergence // Heliyon. -2024.-Vil.10(13): e25073. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e25073.

3. Xinyang Guo, Shiging Cheng, Wenpreng Bai, Dingning Cai, Zexuan Xu, Yang Wang Productivity Prediction of Multilateral Horizontal Wells in Low-Permeability Gas Reservoirs Under Two-Phase Flow Conditions // Available to Purchase. Paper presented at the 58th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, Golden, Colorado, USA, June 2024.Paper Number: ARMA-P.0185. DOI 10.56952/ARMA-2024-0185.

4. Korepanov S.K. Prognozirovanie razmeshhenija gorizantal’ nyh i naklonno napravlennyh skvazhin v zavisimosti ot osobennosti geologicheskogo stroenija nizkoprnicaemogo plasta JuS-2// Nedropol’ zovanie. - 2024. - T.24(4).- S.186-193. DOI 10.15593/2712-8008.2024.4.2. [in Russian]

5. Muhametgaliev I.D. Razvitie tehnologij i tehnicheskih sredstv burenija naklonno-napravlennyh i gorizontal’ nyh skvazhin//Infra-Inzhenerija. - 2024.-108 s. ISBN 978-5-9729-1737-2. [in Russian]

6. Wenqi Ke et al. A Transient Productivity Prediction Model for Horizontal Wells Coupled with Oil and Gas Two-Phase Seepage and Wellbore Flow//Processes.-2023.-Vol.11(7).-P.1-22. DOI 10.3390/pr11112012.

7. Popov I.P., Tomilov A.A., Kazancev G.V., Innovacionnye tehnologii razrabotki neftjanyh i gazovyh mestorozhdenij // Tjumenskij gosudarstvennyj neftegazovyj universitet // Neftepromyslovoe delo. - 2015. - №7. - S.19-22. [in Russian]

8. Li L., Xie M., Liu W., Dai J., Feng S., Luo D., Wang K., Gao Y., Huang R. A New Productivity Evaluation Method for Horizontal Wells in Offshore Low-Permeability Reservoir Based on Modified Theoretical Model//Processes. -2024.- Vol.12(12):2830. DOI 10.3390/pr12122830.

9. Shajahmetova Zh.B., Bisengaliev M.D., Tulegenova O.Sh., Karimova A.S. Issledovanie stacionarnogo pritoka k gorizontal’ noj skvazhine v deformiruemom kollektore // Neft’ i gaz. - 2025. - № 3(147).- S.188-199.DOI: 10.37878/2708-0080/2025-3.19. [in Russian]

Авторлар туралы мәлметтер

Бисенгалиев М.Д. - техника ғылымының кандидаты, профессор, С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан, e-mail: maks_bisengali@mail.ru;

Зайдемова Ж.К. - кандидат технических наук, профессор, С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан, e-mail:b.n.m.99@list.ru;

Шаяхметова Ж.Б. - техника ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор, С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан, e-mail: zhanar6688@mail.ru;

Каримова А.С. - техника ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор, С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан, e-mail: akmaral0167@mail.ru;

Имангалиева Г.Е. - техника ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор, С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан, e-mail: gulnar-imangalieva@mail.ru;

Икласова Ж. - техника ғылымының кандидаты, ассоциированный профессор, С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан, e-mail: janna_ua@mail.ru.

Information about the authors

Bissengaliyev M.D. - Ph., professor, S. Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: maks_bisengali@mail.ru;

Zaidemova Zh.R. -Ph., Professor, S. Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: b.n.m.99@list.ru;

Shayakhmetova Zh.B.- Ph., Associate Professor, S.Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: zhanar6688@mail.ru;

Karimova A.S. - PhD, Associate Professor, S.Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, e-mail: akmaral0167@mail.ru;

Imangalieva G.E.- Ph., Associate Professor, S.Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: gulnar-imangalieva@mail.ru;

Iklassova Zh.U. - Ph. Sci, Associate Professor, S.Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: janna_ua@mail.ru.