

Н.К. Шаждекеева, Г.К. Шамбилова, А.Н. Мырзашева, Е. Латипов

*Х. Досмұхамедов атындағы Атырау мемлекеттік университеті, Қазақстан
(E-mail: shambilova_gulba@mail.ru)*

Мұнай қабаты параметрлерін нақтылау бойынша алынған сүзгілеу теориясының бір кері есебі туралы

Мақалада нақты деректерді пайдалану кезінде нақты уақыт режимінде өнімді қабаттың коллекторлық қасиеттерін дәлірек анықтауға мүмкіндік беретіндей сүзгілеу теориясының кері есебі зерттелді. Бұл мақсатта ұңғымалар бойынша сұйық дебитінің, газ және қабат қысымының уақытқа тәуелділігінің қажетті шарттары анықталды және нақты мәліметтер беріліп, белгілі бір кен орнының технологиялық көрсеткіштері қалпына келтірілді. Тура және кері есептер шығарылды, оларды шешудің алгоритмі ұсынылды. Сулы қабаттың облыс шеттерінде жеткізу, жеңілдету және сүзгілеу-сыйымдылық параметрлерінің шарттары қалпына келтірілгенде ұңғымалардағы J сәйкессіздік функционалының азаюы қалпына келтіру және сәйкестендіру есептерінің дәйекті шешімдерін алудың жеткілікті шарты болып табылатындығы көрсетілді. Атырау облысы кен орындарында алынған мәліметтер негізінде сандық тәжірибелер жүргізілді.

Кілт сөздер: кері есеп, сүзгілеу теориясы, коллекторлық қасиеттері, диффузия теңдеуі, параметрлер, функционал, градиент.

Қарастырылып отырған жағдайдағы сүзгілеу теориясының кері есебінің қойылуы сұйықты кеукті ортада сүзгілеу кезінде тиімді қабаттың агрегаттық жай-күйінің өзгеруі әсерінен туындап отыр. Сәйкесті айырмашылықтар сулы қабат құрылымының ерекшеліктеріне және оның коллекторлық қасиеттерінің өзгерістеріне байланысты. Сондықтан қарастырылып отырған кері есептің қойылуы және шешілуі барысында қысым және ұңғымалардың сүзгілеу параметрлері туралы ақпаратты қолдануға болады. Гидрогеологиялық зерттеулер нәтижесі табиғи сүзгілеу ағыны тағы да бір ерекшелігімен сипатталатындығын көрсетеді. Сүзгілеу ағыны болуы әсерінен ерітілген түрде көмірсутекті және көмірсутекті емес компоненттерге қарай судың белгілі бір бөлінуі болады. Геологиялық ұзақ уақыт барысында бұл компоненттер мұнай немесе газ қалыңдыларынан қалыптасып, сулы қабатқа ауысқан (өткен) белгілі бір анықталған индикаторлар ретінде қабылдануы мүмкін. Бұл индикаторлар концентрациясы сулы қабат құрылымының ерекшеліктеріне және оның коллекторлық қасиеттерінің өзгерістеріне байланысты алаң бойынша өзгеріп отырады. Мұндай жекелеген компоненттердің көшуінің стационарлық емес процестері конвективті диффузия теңдеуімен сипатталады [1]. Жазық сүзгілеу ағыны жағдайында конвективті диффузия теңдеуі мына түрде болады [2]:

$$m \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\lambda_1 \nu_1^2 + \lambda_2 \nu_2^2}{\sqrt{\nu_1^2 + \nu_2^2}} \frac{dc}{dx} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\lambda_1 \nu_2^2 + \lambda_2 \nu_1^2}{\sqrt{\nu_1^2 + \nu_2^2}} \frac{dc}{dy} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (\nu_1 c), \quad (1)$$

мұндағы m — кеуктілік коэффициенті; c — қарастырылып отырған компонент концентрациясы; λ_1, λ_2 — ортаның таралуының сәйкесінше кума және көлденең параметрлері, тұрақтылар (ұзындық өлшемді); ν_1, ν_2 — сәйкесінше x және y осьтері бойынша сүзгілеу жылдамдығының компоненттері.

(1) теңдеу үшін табиғи шекаралық

$$\frac{\partial c}{\partial n} = 0; \quad (x, y) \in \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4; \quad c = 1, \quad (x, y) \in \Gamma_1 \quad (2)$$

және бастапқы шарттар беріледі

$$c(x, y) = 0; \quad t = 0. \quad (3)$$

Сонда уақыттың әр түрлі кезеңіндегі, соның ішінде есептеулер жүргізу кезеңіндегі сулы қабаттың барлық ауданы бойынша өріс концентрациясын анықтаудың тікелей шекаралық есебі алынады. ν_1, ν_2 сүзгілеу жылдамдықтары аудан бойынша қысымның таралуына тәуелді болады, ендеше, (1)–(3) есебінің

шешімін табу үшін мұнай немесе газ қалыңдылары бар, біртекті емес (коллекторлық қасиеттеріне сәйкес) сулы қабаттағы P^* келтірілген қысымға қатысты эллипстік типтегі дифференциалдық теңдеумен өрнектелетін суды сүзгілеу есебінің шешімінің болуы қажетті

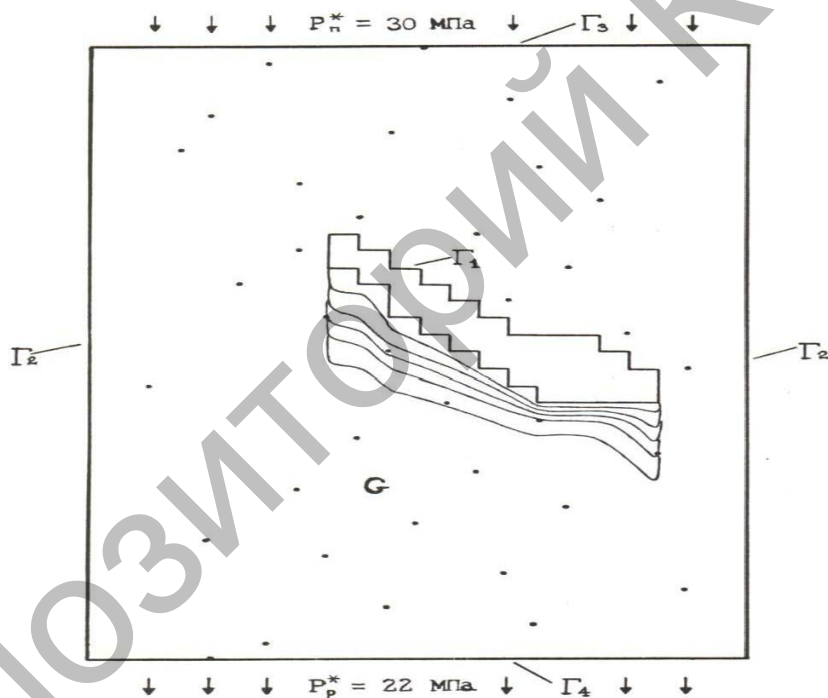
$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k(x, y) \cdot h(x, y) \frac{\partial P^*}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(x, y) \cdot h(x, y) \frac{\partial P^*}{\partial y} \right] = 0. \quad (4)$$

(4) теңдеуді интегралдау қысымға қатысты келесі шекаралық шарттарға сәйкес іске асырылады

$$\frac{\partial P^*}{\partial n} = 0, \quad (x, y) \in \Gamma_1, \Gamma_2, \quad (5)$$

$$P^* = P_n^* = \text{const}, \quad (x, y) \in \Gamma_3; \quad P^* = P_p^* = \text{const}, \quad (x, y) \in \Gamma_4. \quad (6)$$

Сонымен, мұнай немесе газ шөгінділері бар, сулы қабаттағы нақты сүзгілеу ағыны үшін (4)–(6) тікелей шекаралық есебі орындалады, мұндағы $P^* = P \pm \rho_B g l$; P – координаталары x және y болатын нүктедегі қысым; ρ_B – судың тығыздығы; g – еркін түсу үдеуі; l – координаталары x және y болатын берілген нүктеден келтірілген жазықтыққа дейінгі вертикаль арақашықтық; n – G -ға қатысты сыртқы нормаль; k – қабаттың су өткізгіштік коэффициенті; h – қабаттың қалыңдығы; Γ_1 – мұнай немесе газ қалыңдыларының шекарасы; Γ_2 – сулы қабаттың су өткізбейтін шекаралары; Γ_3 – қоректендіру аймағының контуры; Γ_4 – жеңілдету аймағының контуры. Қарастырылып отырған аймақ 1-суретте көрсетілген.



1-сурет. Коллекторлық қасиеттеріне сәйкес біртекті емес сулы қабаттағы барлау ұңғымаларын орналастыру сызбасы және изобар картасы

P^* қысымның c – қарастырылып отырған компонент концентрациясына кері тәуелділігі жоқ, олай болса, (4)–(6) және (1)–(3) есептері екі дербес тікелей шекаралық есептерге бөлінеді. Сонымен, қабаттың берілген коллекторлық қасиеттеріне k және h , λ_1 , λ_2 шекаралық шарттарға сәйкес теңдеулерді шешу сулы қабаттың барлық ауданы бойынша келтірілген P^* қысымның таралуын анықтауға мүмкіндік береді [3–5]. Одан әрі алдыңғы есептегі P^* функциясын пайдалана отырып, сулы қабаттың k , h , t берілген коллекторлық қасиеттеріне (3) бастапқы шартқа және (2) шекаралық шартқа сәйкес (1) теңдеуді шешу c – концентрациясының сулы қабаттың барлық ауданы бойынша таралуын анықтауға мүмкіндік береді.

Кері есептің қойылуы. Сулы қабаттың барлық ауданы бойынша сол күнге сәйкес $[0, T]$ уақыт аралығының соңында $P^*(x, y)$ және $C(x, y, t)$ нақты мәндері белгілі деп есептейміз. T геологиялық уақыт

мезетінде ұңғымалардағы қабат геометриясы және оның коллекторлық қасиеттерінің жуық мәндері туралы P^* және C мәліметтер белгілі болсын. Сулы қабаттың барлық нүктелеріндегі коллекторлық (сүзгілеу және сыйымдылық) қасиеттерін, сонымен қатар қолда бар деректерге негізделген жеткізу және түсіру алаңдарының шеттеріндегі шарттарды анықтау қажет. Кері есепті тиімдендіру есебі ретінде шығарамыз. J функционалын J_1 және J_2 қосындысы түрінде тұрғызамыз. Бұл функционалдың қабаттың коллекторлық қасиеттеріне тәуелді болатындығы түсінікті

$$J \{P_n^*, P_p^*, b, \lambda_1, \lambda_2\} = J_1 (P_n^*, P_p^*, b) + J_2 (m, \lambda_1, \lambda_2) = \sum_{i=1}^N \left[(P_{pac_i}^* - P_{\phi_i}^*)^2 + w_i (b_{pac_i} - b_{\phi_i})^2 \right] + \int_0^T \sum_{i=1}^N \gamma_i [C_{pac_i} - C_{\phi_i}]^2 dt. \quad (7)$$

Кері есепті мына түрде тұжырымдауға болады: (7) функционалды минималдайтын $P_n^*, P_p^*, b, m, \lambda_1, \lambda_2$ мәндерін табу керек. Есепті шешу нәтижесінде енгізілген шарттар мен сүзгілеудің қабылданған математикалық моделі тұрғысынан келтірілген қысымның есептік және нақты мәндерінің, сүзгілеу параметрлері мен концентрацияларының сәйкес келуін қамтамасыз ететін геологиялық модельмен эквивалентті болатын кейбір қабаттың коллекторлық қасиеттері анықталады. Функционалды минималдау үшін итерациялық градиентті әдісті қолданамыз, мысалы, қабаттың әртүрлі нүктелеріндегі кеуектілік коэффициентін анықтау үшін келесі рекурренттік қатынасты аламыз:

$$m^{(s+1)} = m^{(s)} - \lambda_m^{(s)} \frac{\partial J}{\partial m}, \quad (8)$$

мұндағы s — итерация номері.

Осыған аналогиялық түрде барлық басқа ізделінді параметрлер үшін де градиентті ережелер жазылады. $P_n^*, P_p^*, b, m, \lambda_1, \lambda_2$ шамалары мәндері үшін нөлдік жақындату ретінде геологиялық карталар, ұңғымалар мен қабаттарды геофизикалық және гидродинамикалық зерттеулер нәтижелері пайдаланылуы мүмкін. Градиентті ережелерді (рәсімдерді) іске асыру үшін функционалды туындыларды есептеу керек.

Есепті шешу алгоритмі келесі кезеңдерден тұрады:

1. Сулы қабаттың газ немесе мұнай шөгінділері белгіленген нақты конфигурациясы немесе G жиынтығы сұлба G^1 аймағымен жуықталады. Пьезометрикалық ұңғымалардың орналасқан орындарының координаталары мен олардағы қабат қысымын өлшеу нәтижелері, сонымен қатар осы ұңғымалардағы есептеулер жүргізу немесе уақыттың әртүрлі мезеттеріндегі (судың табиғи сүзгілеудің ағынын жасанды жолмен алу барысында) индикатор компоненттерінің концентрацияларын өлшеулер туралы мәліметтер белгілі деп есептеледі. Қабаттың геологиялық моделін $P_n^*, P_p^*, b, m, \lambda_1, \lambda_2$ нөлдік жақындату ретінде геологиялық-геофизикалық мәліметтер негізінде тұрғызылған карталар, сонымен қатар негізгі талдау нәтижелері пайдаланылады.

2. (4)–(6) тікелей шекаралық есеп шекті айырма әдісімен шығарылады, және интегралдау облысының барлық ауданы бойынша $P_{i,j}^*$ келтірілген қабат қысымының есептік таралуы анықталады.

3. $J = \int_G \sum_{i=1}^N [P_{pac_i}^* - P_{\phi_i}^*]^2 \delta dG + \int_G \sum_{i=1}^N w_i [b_{pac_i} - b_{\phi_i}]^2 \delta dG$ формуласы бойынша қысым және сүзгілеу параметрлері өлшенетін нүктелердегі сәйкессіздік анықталады және J_1 функционалының мәні есептеледі.

4. Алдыңғы (4)–(6) есебіндегі $P_{i,j}^*$ функциясын пайдалана отырып, (1)–(3) тікелей шектік есебі шығарылады. (1)–(3) есебін шығару нәтижесінде әртүрлі уақытша қабаттардағы, сонымен қатар T уақыт мезетіндегі $C_{i,j}$ концентрациясының есептік таралуы белгіленеді.

5. $\varepsilon_i = \int_G C(x, y, T) dG - C_{\phi_i}$ формуласымен концентрациялар өлшенетін нүктелердегі сәйкессіздік анықталып, J_2 функционалының мәні есептеледі, мұндағы $\int_G C(x, y, T) dG = Cppa_i(T) - T$ уақыт мезетіндегі i -ші ұңғыманың орналасқан орнына сәйкес келетін есептік концентрация; $\varepsilon_i - T$ уақыт мезетіндегі i -ші ұңғымадағы есептік және нақты концентрациялар арасындағы сәйкессіздік. Бұдан соң, егер $\left| J^{(s)} - J^{(s-1)} \right| \leq \varepsilon$ шарты орындалса, $J = J_1 + J_2$ функционалының мәні анықталады, мұндағы s — итерация номері; ε — алдын ала берілген модельдің қателік шамасы орындалады, кері есептің шешімін табу аяқталады.

6. Қарама-қарсы жағдайда табылған сәйкессіз шамалармен түйіндес шектік есеп шығарылады

$$\operatorname{div} b \nabla U - 2 \sum_{i=1}^N (P_{pac_i}^* - P_{\phi_i}^*) \delta = 0; \quad (9)$$

$$\frac{\partial U}{\partial n} = 0, \quad (x, y) \in \Gamma_1, \Gamma_2; \quad (10)$$

$$U = 0, \quad (x, y) \in \Gamma_3, \Gamma_4, \quad (11)$$

және $U_{i,j}$ түйіндес функцияның таралуы анықталады. Аналогиялық түрде табылған сәйкессіз шамалармен түйіндес дифференциалдық теңдеу шешіледі

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\lambda_1 \nu_1^2 + \lambda_2 \nu_2^2}{\sqrt{\nu_1^2 + \nu_2^2}} \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\lambda_1 \nu_2^2 + \lambda_2 \nu_1^2}{\sqrt{\nu_1^2 + \nu_2^2}} \frac{\partial U}{\partial y} \right) - \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (\nu_1 U) + m \frac{\partial U}{\partial t} = 2 \sum_{i=1}^n \gamma_i \varepsilon_i \delta, \quad (12)$$

келесі шекаралық және бастапқы шарттарға сәйкес

$$\frac{\partial U}{\partial n} = 0, \quad (x, y) \in \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4; \quad U = 0, \quad (x, y) \in \Gamma_1; \quad (13)$$

$$U(x, y, t) = 0, \quad t = T. \quad (14)$$

$[0, T]$ уақыт кесіндісінде уақыттың әртүрлі мезегіндегі $U_{i,j}^k$ түйіндес функциясының таралуы анықталады.

7. Жуықтап интегралдау формулалары бойынша функционалдық туындылар есептеледі

$$\frac{\partial J}{\partial P_n^*} = \sum_{j=1}^{N_y} b_{i,j} \frac{U_{i+1,j} - U_{i,j}}{\Delta x} \Delta y, \quad i = 1; \quad (15)$$

$$\frac{\partial J}{\partial P_p^*} = \sum_{j=1}^{N_y} b_{i,j} \frac{U_{i+1,j} - U_{i,j}}{\Delta x} \Delta y, \quad i = N_x; \quad (16)$$

$$\frac{\partial J}{\partial b} = \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} \left[\frac{U_{i+1,j} - U_{i,j}}{\Delta x} \frac{P_{i+1,j}^* - P_{i,j}^*}{\Delta x} + \frac{U_{i,j+1} - U_{i,j}}{\Delta y} \frac{P_{i,j+1}^* - P_{i,j}^*}{\Delta y} + EP_{i,j} b_{i,j} \right] \Delta x \Delta y. \quad (17)$$

$$\frac{\partial J_2}{\partial m} = \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} \sum_{k=1}^{N_t-1} U_{i,j}^k \frac{C_{i,j}^{k+1} - C_{i,j}^k}{\Delta t} \Delta x \Delta y \Delta t; \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial J_2}{\partial \lambda_1} = & \sum_{i=1}^{N_x-1} \sum_{j=1}^{N_y} \sum_{k=1}^{N_t} \left[\frac{\nu_{1,i,j}^2}{\sqrt{\nu_{1,i,j}^2 + \nu_{2,i,j}^2}} \frac{C_{i+1,j}^k - C_{i,j}^k}{\Delta x} \frac{U_{i+1,j}^k - U_{i,j}^k}{\Delta x} + \right. \\ & \left. + \frac{\nu_{2,i,j}^2}{\sqrt{\nu_{1,i,j}^2 + \nu_{2,i,j}^2}} \frac{C_{i,j+1}^k - C_{i,j}^k}{\Delta y} \frac{U_{i,j+1}^k - U_{i,j}^k}{\Delta y} \right] \Delta x \Delta y \Delta t; \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial J_2}{\partial \lambda_2} = & \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y-1} \sum_{k=1}^{N_t} \left[\frac{\nu_{2,i,j}^2}{\sqrt{\nu_{1,i,j}^2 + \nu_{2,i,j}^2}} \frac{C_{i+1,j}^k - C_{i,j}^k}{\Delta x} \frac{U_{i+1,j}^k - U_{i,j}^k}{\Delta x} + \right. \\ & \left. + \frac{\nu_{1,i,j}^2}{\sqrt{\nu_{1,i,j}^2 + \nu_{2,i,j}^2}} \frac{C_{i,j+1}^k - C_{i,j}^k}{\Delta y} \frac{U_{i,j+1}^k - U_{i,j}^k}{\Delta y} \right] \Delta x \Delta y \Delta t. \end{aligned} \quad (20)$$

8. Градиент ережелерінің параметрлері есептеледі

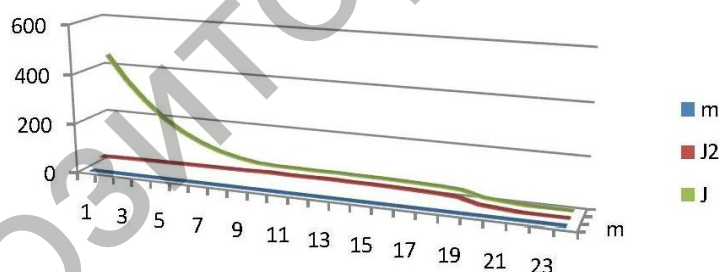
$$\lambda_{P_n^*}, \lambda_{P_p^*}, \lambda_b, \lambda_m, \lambda_{\lambda_1}, \lambda_{\lambda_2}.$$

9. Градиент ережелерін пайдаланып, сулы қабаттың ізделінді параметрлері анықталады, басқаша айтқанда, $P_n^{(s+1)*}$, $P_p^{(s+1)*}$, $b^{(s+1)}$, $m^{(s+1)}$, $\lambda_1^{(s+1)}$ және $\lambda_2^{(s+1)}$ шамалары үшін кезекті жуықтаулар табылады және 2 пунктке ауысу жүргізіледі.

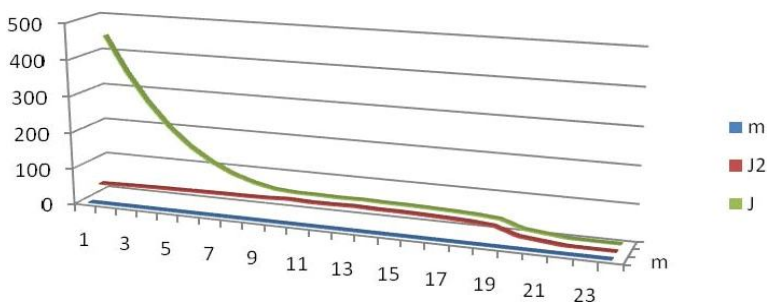
Кері есепті шешу барысындағы итерация санына байланысты J_2 және J функционалдары бойынша жинақтылық және сыйымдылық параметрлерінің нақтыға жинақтылығы

Итер. номері	m	J_2	J
1	1,0000	38,1372	444,83
2	0,9645	39,5578	345,80
3	0,9309	40,9089	265,39
4	0,8991	41,9977	200,36
5	0,8689	42,6758	149,64
6	0,8399	43,5912	112,10
7	0,8119	44,2864	83,79
8	0,7850	44,5489	64,94
9	0,7582	45,3890	52,46
10	0,7331	48,2365	48,40
11	0,7161	45,8002	48,07
12	0,6857	46,1512	46,76
13	0,6527	47,4741	47,66
14	0,6222	45,4419	45,87
15	0,5731	45,1268	45,33
16	0,5111	43,7017	43,81
17	0,4210	41,6976	41,73
18	0,3723	39,1174	39,14
19	0,2994	33,9184	33,94
20	0,1697	13,3323	13,35
21	0,1434	6,9516	6,97
22	0,1132	0,8680	0,89
23	0,0963	0,1754	0,20
24	0,1072	0,2418	0,26

Итер. номері	m	J_2	J
1	1,5000	44,6142	451,10
2	1,4211	45,1973	351,42
3	1,3438	45,7435	270,22
4	1,2680	46,1575	204,52
5	1,1925	46,4474	153,21
6	1,1157	46,6270	115,15
7	1,0360	46,7591	86,25
8	0,9518	46,5029	66,89
9	0,08562	46,5466	53,62
10	0,7504	48,3765	48,55
11	0,6838	45,3221	47,60
12	0,5808	44,3479	44,96
13	0,4709	44,1643	44,35
14	0,3586	35,9937	36,43
15	0,1466	5,7585	5,97
16	0,1212	1,1974	1,30
17	0,1086	0,4233	0,45
18	0,0993	0,0470	0,07
19	0,1029	0,0344	0,06
20	0,1005	0,0094	0,03
21	0,1014	0,0113	0,03
22	0,1012	0,0102	0,03
23	0,1013	0,0107	0,03



2-сурет. Кестенің 1-қатары бойынша кері есепті шешу барысындағы итерация санына байланысты J_2 және J функционалдары бойынша жинақтылық



3-сурет. Кестенің 2-қатары бойынша кері есепті шешу барысындағы итерация санына байланысты J_2 және J функционалдары бойынша сыйымдылық параметрлерінің нақтыға жинақтылығы

Минималданатын функционалдың мәнінің соңғы және соңғының алдындағы итерацияларда берілген ε қателігінен өзгерісі болмаған жағдайда ғана есептеулер аяқталады. Жеткізу және түсіру алаңдарының шеттеріндегі шарттар қалпына келтірілгенде және сулы қабаттың сүзгілеу-сыйымдылық параметрлерін идентификациялағанда ұңғымалардағы J сәйкессіздік функционалының азаюы қалпына келтіру және идентификациялау есептерінің ақиқат шешімдерін алудың жеткілікті шарты болатындығы көрсетілді (кестені қара.). Нақты кен орны мәліметтері негізінде сандық тәжірибелер жүргізілді (2, 3-сур.).

Әдебиеттер тізімі

- 1 Булыгин В.Я. Один конечно-разностный метод восстановления функции пластового давления и гидропроводности пластов / В.Я. Булыгин // Теорет. и эксперим. исслед. разработки нефтяных месторождений. — Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1964. — С. 81–86.
- 2 Максимов А.М. Образование двухфазной зоны при взаимодействии талых и мерзлых пород с раствором соли / А.М. Максимов, Г.Г. Цыпкин. — М.: Ин-т проблем механики АН РФ, 1987. — С. 59.
- 3 Шаждекеева Н.К. Об одной задаче восстановления условий на контурах областей питания и разгрузки и идентификации фильтрационных параметров / Н.К. Шаждекеева, Е. Аужани // Известия НАН РК. Сер. физ.-мат. — Алматы, 2008. — Вып. 5. — С. 55–59.
- 4 Шаждекеева Н.К. Об одной прямой и обратной задаче однофазной изотермической фильтрации газовой смеси в горизонтальном пласте / Н.К. Шаждекеева // Вестн. КазНУ им. аль-Фараби. — 2008. — № 2(57). — С. 101–109.
- 5 Шаждекеева Н.К. Об одной задаче восстановления условий на контурах областей питания и разгрузки нефтяного пласта / Шаждекеева Н.К., А.Н. Мырзашева, А.Ж. Адиева // Қазіргі білім беру кеңістігіндегі физика-математика ғылымдарының ролі: V Халықарал. ғыл.-теор. конф. материалдары. — Атырау, 2017. — 78–81-б.

Н.К. Шаждекеева, Г.К. Шамбилова, А.Н. Мырзашева, Е. Латипов

Об одной обратной задаче теории фильтрации по уточнению параметров нефтяного пласта

В статье исследованы обратные задачи теории фильтрации, которые в режиме реального времени позволяют уточнить коллекторские свойства продуктивного пласта при использовании фактических данных. Для этих целей определены необходимые условия зависимости от времени дебитов жидкости, газа и пластовых давлений по скважинам и восстановлены технологические показатели конкретного месторождения с реальными данными. Решены прямая и обратная задачи, приведен алгоритм их решения. Показано, что при восстановлении условий на контурах областей питания и разгрузки и идентификации фильтрационно-ёмкостных параметров водоносного пласта уменьшение функционала невязки J на скважинах является достаточным условием для получения достоверных решений задач восстановления и идентификации. Проведены численные эксперименты с данными, полученными на месторождениях Атырауской области.

Ключевые слова: обратная задача, теория фильтрации, коллекторские свойства, уравнение диффузии, параметры, функционал, градиент.

N.K. Shzhdekeeva, G.K. Shambilova, A.N. Myrzasheva, E. Latipov

On an inverse problem of the filtration theory by the refinement of parameters of an oil layer

In the article the inverse problems of the filtration theory, that in real time allows to specify the reservoir properties of the productive formation by using the actual data. For these purposes, the necessary conditions for the dependence of liquid, gas and reservoir pressures on the wells have been determined on time, and the technological performance of a particular field with real data has been restored. The direct and inverse problems are solved, the algorithm for their solution is given. It is shown that, when conditions are restored on the contours of the feeding areas and unloading and the identification of the filtration-capacitance parameters of the aquifer, the decrease in the residual J function at the wells is a sufficient condition for obtaining reliable solutions for recovery and identification problems. Numerical experiments were carried out with the data obtained in the fields of Atyrau region.

Keywords: inverse problem, filtration theory, reservoir properties, diffusion equation, parameters, functional, gradient.

References

- 1 Bulygin, V.Ya. (1964). *Один конечно-разностный метод восстановления функции пластового давления и гидропроводности пластов* [One finite-difference method for restoring the function of layer pressure and hydraulic conductivity of the layers]. *Теоретические и экспериментальные исследования развития нефтяных месторождений – Theoretical and experimental research of the development of oil fields*, 81–86 [in Russian].
- 2 Maksimov, A.M., & Tsyppin, G.G. (1987). *Образование двухфазной зоны при взаимодействии талых и мерзлых пород с раствором соли* [Formation of a two-phase zone in the interaction of thawed and frozen rocks with a solution of salt]. Moscow: Institut problem mekhaniki AN RF [in Russian].
- 3 Shzhdekeeva, N.K., & Auzhani, E. (2008). *Ob odnoi zadache vosstanovleniia uslovii na konturakh oblastei pitaniia i razhruzki i identifikatsii filtratsionnykh parametrov* [On one task of restoring conditions on the contours of the feeding areas and unloading and identifying the filter parameters]. *Izvestiia NAN RK. Serii fiziko-matematicheskaiia – Proceedings of NAS RK. Series of Physics and mathematics, Vol. 5*, 55–59. Almaty [in Russian].
- 4 Shzhdekeeva, N.K. (2008). *Ob odnoi priamoj i obratnoj zadache odnofaznoi izotermicheskoi filtratsii hazovoi smesi v horizontalnom plaste* [On a direct and inverse problem of single-phase isothermal filtration of a gas mixture in a horizontal layer]. *Vestnik KazNU imeni Al-Farabi – Al-Farabi Bulletin of KazNU*, 2(57), 101–109 [in Russian].
- 5 Shzhdekeeva, N.K., Myrzasheva, A.N., & Adieva, A.Zh. (2017). *Ob odnoi zadache vosstanovleniia uslovii na konturakh oblastei pitaniia i razhruzki neftianoho plasta* [On one task of restoring conditions on the contours of the feeding areas and unloading the oil layer]. *Proceedings from The role of physical and mathematical sciences in modern educational space: V Khalykaralyk hylimi-teoriialyk konferentsiia materialdary – International Scientific and Practical Conference*. (pp. 78–81). Atyrau [in Russian].