УДК 622.276; 622.279

ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ НЕОДНОРОДНОГО ПЛАСТА ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗОКОНДЕНСАТНОЙ СМЕСИ

Г.И.Джалалов, Х.А.Фейзуллаев
(Институт Геологии НАНА)

Выполнено моделирование пласта при фильтрации газоконденсатной смеси на базе бинарной модели. На основании этого решена задача определения изменения проницаемости пласта по вертикали в наиболее общем виде в вариационной постановке. Разработана расчетная схема и проведены численные эксперименты.

Ключевые слова: газоконденсатная смесь, вариационная задача, давление, пористость, проницаемость.

Адрес связи: khasay_F@lan.ab.az

DOI: 10.5510/OGP20120300121

Продуктивные горизонты углеводородных залежей, как правило, имеют сложное строение, а коллекторские свойства пласта меняются как по разрезу, так и по площади его простирания. Технологические показатели разработки залежи при их прогнозировании существенно зависят от неоднородности по проницаемости пластов. Поэтому вопросы возможного их определения являются важной проблемой теории и практики разработки углеводородных месторождений.

Предположим, что неоднородный пласт мощностью H и радиусом R_k ограничен двумя непроницаемыми поверхностями и вскрыт скважиной радиусом r_c, работающей с забойным давлением $p_c(z,t)$. Требуется определить: распределение давления $p(r,z,t)$ и некоторые физические параметры пласта.

Математически задача сводится к решению системы уравнений [1]:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left\{rk(r,z)\left(\frac{F_г(\rho_k)p\beta\left[1-c(p)\bar{\gamma}(p)\right]}{\mu_г(p)z(p)p_{атм}}+\frac{F_k(\rho_k)S_k(p)}{\mu_k(p)a_k(p)}\right)\frac{\partial p}{\partial r}\right\}+$$
$$+\frac{\partial}{\partial z}\left\{k(r,z)\left(\frac{F_г(\rho_k)p\beta\left[1-c(p)\bar{\gamma}(p)\right]}{\mu_г(p)z(p)p_{атм}}+\frac{F_k(\rho_k)S_k(p)}{\mu_k(p)a_k(p)}\right)\frac{\partial p}{\partial z}\right\}=$$
$$=\frac{\partial}{\partial t}\left\{m\left(\frac{(1-\rho_k)p\beta}{z(p)p_{атм}}\left[1-c(p)\bar{\gamma}(p)\right]+\rho_k\frac{S_k(p)}{a_k(p)}\right)\right\}$$
$$(r,z)\in D,\ t\in(0,T) \qquad (1)$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left\{rk(r,z)\left(\frac{F_k(\rho_k)}{\mu_k(p)a_k(p)}+\frac{F_г(\rho_k)c(p)\beta}{\mu_г(p)z(p)p_{атм}}\right)\frac{\partial p}{\partial r}\right\}+$$
$$+\frac{\partial}{\partial z}\left\{k(r,z)\left(\frac{F_k(\rho_k)}{\mu_k(p)a_k(p)}+\frac{F_г(\rho_k)pc(p)\beta}{\mu_г(p)z(p)p_{атм}}\right)\frac{\partial p}{\partial z}\right\}=$$
$$=\frac{\partial}{\partial t}\left\{m\left(\frac{\rho_k}{a_k(p)}+(1-\rho_k)\frac{p\beta c(p)}{z(p)p_{атм}}\right)\right\}$$
$$(r,z)\in D,\ t\in(0,T) \qquad (2)$$

Начальные и граничные условия имеют вид:

$$p(r,z,t)\big\|_{t=0}=p_0,\quad \rho_k(r,z,t)\big|_{t=0}=0\ ,\quad (r,z)\in D \qquad (3)$$

$$p(r,z,t)\big\|_{r=r_c}=p_c(z,t), \qquad (4)$$

$$\left.\frac{\partial p(r,z,t)}{\partial r}\right|_{r=R_k}=0,\quad \left.\frac{\partial p(r,z,t)}{\partial z}\right|_{z=0;H}=0\ ,\quad t\in(0,T) \qquad (5)$$

где $p(r,z,t)$ - давление;
$\rho_k(r,z,t)$ - конденсатонасыщенность;
$F_г(\rho_k)$ и $F_к(\rho_k)$ - относительная фазовая проницаемость соответственно для газовой и жидкой фаз;
$c(p)$ - содержание конденсата в газовой фазе;
$\bar{\gamma}(p)$ - отношение удельных весов конденсата в жидкой и газовой фазе при нормальных условиях;
$S_к(p)$ - количество растворенного в жидкости газа; $a_к(p)$ - объемный коэффициент жидкой фазы;
m - пористость;
k - проницаемость;
t - время;
$p_{атм}$ - атмосферное давление;
β и $z(p)$ - коэффиценты, соответственно температурной поправке и сжимаемости для газовой фазы;
$\mu_г(p)$ и $\mu_к(p)$ - вязкость соответственно газовой и жидкой фаз;
D - область фильтрации.

Разностный алгоритм нахождения решений $p(r,z,t)$, $\rho_k(r,z,t)$ при заданном $k(r,z)$ при условиях (1)-(5) имеет вид:

$$e^{-2x_i}\left\{\frac{1}{\Delta x_i}\left[k^n_{i+1/2,j}\cdot\Psi^{n+1}_{i+1/2,j}\frac{p^{n+1}_{i+1,j}-p^{n+1}_{i,j}}{\Delta x_{i+1/2}}-k^n_{i-1/2,j}\cdot\Psi^{n+1}_{i-1/2,j}\cdot\frac{p^{n+1}_{i,j}-p^{n+1}_{i-1,j}}{\Delta x_{i-1/2}}\right]\right\}+$$
$$+\frac{1}{\Delta z_j}\left[k^n_{i,j+1/2}\cdot\Psi^{n+1}_{i,j+1/2}\frac{p^{n+1}_{i,j+1}-p^{n+1}_{i,j}}{\Delta z_{j+1/2}}-k^n_{i,j-1/2}\cdot\Psi^{n+1}_{i,j-1/2}\cdot\frac{p^{n+1}_{i,j}-p^{n+1}_{i,j-1}}{\Delta z_{j-1/2}}\right]-$$
$$-A^n_{i,j}\left\{e^{-2x_i}\left[\frac{1}{\Delta x_i}\left(k^n_{i+1/2,j}\cdot\Phi^{n+1}_{i+1/2,j}\frac{p^{n+1}_{i+1,j}-p^{n+1}_{i,j}}{\Delta x_{i+1/2}}-k^n_{i-1/2,j}\cdot\Phi^{n+1}_{i-1/2}\cdot\frac{p^{n+1}_{i,j}-p^{n+1}_{i-1,j}}{\Delta x_{i-1/2}}\right)\right]+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{\Delta z_j}\left[k^n_{i,j+1/2}\cdot\Phi^{n+1}_{i,j+1/2}\frac{p^{n+1}_{i,j+1}-p^{n+1}_{i,j}}{\Delta z_{j+1/2}}-k^n_{i,j-1/2}\cdot\Phi^{n+1}_{i,j-1/2}\cdot\frac{p^{n+1}_{i,j}-p^{n+1}_{i,j-1}}{\Delta z_{j-1/2}}\right]\right\}=$$
$$=\left[\left(Q'^n_{i,j}-A^n_{i,j}M'^n_{i,j}\right)+\rho_{ki,j}\left(N'^n_{i,j}-A^n_{i,j}B'^n_{i,j}\right)\right]\frac{p^{n+1}_{i,j}-p^n_{i,j}}{\Delta\tau} \qquad (6)$$

$$e^{-2x_i}\left\{\frac{1}{\Delta x_i}\left[k^n_{i+1/2,j}\cdot\Phi^{n+1}_{i+1/2,j}\frac{p^{n+1}_{i+1,j}-p^{n+1}_{i,j}}{\Delta x_{i+1/2}}-k^n_{i-1/2,j}\cdot\Phi_{i-1/2}\cdot\frac{p^{n+1}_{i,j}-p^{n+1}_{i-1,j}}{\Delta x_{i-1/2}}\right]\right\}+$$

$$+\frac{1}{\Delta z_j}\left[k^n_{i,j+1/2}\cdot\Phi^{n+1}_{i,j+1/2}\frac{p^{n+1}_{i,j+1}-p^{n+1}_{i,j}}{\Delta z_{j+1/2}}-k^n_{i,j-1/2}\cdot\Phi^{n+1}_{i,j-1/2}\cdot\frac{p^{n+1}_{i,j}-p^{n+1}_{i,j-1}}{\Delta z_{j-1/2}}\right]-$$

$$-\left[M^n_{i,j}+\rho^n_{ki,j}B'^n_{i,j}\right]\frac{p^{n+1}_{i,j}-p^n_{i,j}}{\Delta\tau}=B^n_{i,j}\frac{\rho^{n+1}_{ki,j}-\rho^n_{ki,j}}{\Delta\tau} \qquad (7)$$

где

$$\Psi(p,\rho_k)=\left[\frac{F_z(\rho_k)p\beta\left[1-C(p)\gamma(p)\right]}{\mu_z(p)z(p)p_{атм}}+\frac{F_k(p_k)S_k(p)}{\mu_k(p)a_k(p)}\right],$$

$$\Phi(p,\rho_k)=\left[\frac{F_z(\rho_k)pC(p)\beta}{\mu_z(p)z(p)p_{атм}}+\frac{F_k(\rho_k)}{\mu_k(p)a_k(p)}\right],$$

$$B(p)=m\left[\frac{1}{a_k(p)}-\frac{p\beta c(p)}{z(p)p_{атм}}\right],\quad M(p)=m\frac{p\beta c(p)}{z(p)p_{атм}},$$

$$N(p)=m\left[\frac{s_k(p)}{a_k(p)}-\frac{p\beta\left[1-c(p)\overline{\gamma}(p)\right]}{z(p)p_{атм}}\right],$$

$$Q(p)=m\frac{p\beta\left[1-c(p)\overline{\gamma}(p)\right]}{z(p)p_{атм}},$$

$$A(p)=\frac{N(p)}{B(p)},\quad x=\ln r,\ x_c=\ln r_c,\ x_k=\ln r_k$$

$(x_i, z_j, t_n)=(x_i,\ 0=x_0<x_1<\ldots<x_{N_x}=L_x,\ z_j,\ 0=z_0<z_1<z_{N_z}=$
$=L_z,\ t_n,\ 0=t_0<t_1<\ldots<t_{N_t}=L_t)$
L_x, L_z - соответствуют абсолютной отметке залежи,

$$\Delta\tau=\frac{t_n}{n},\quad n=1,2,3\ldots,N_\tau,$$

$$x_{i+1/2}=x_i+\frac{1}{2}\Delta x_{i+1/2},\quad \Delta x_{i+1/2}=x_{i+1}-x_i,\quad i=\overline{1,N_x},$$

$$z_{j+1/2}=z_j+\frac{1}{2}\Delta z_{j+1/2},\quad \Delta z_{j+1/2}=z_{j+1}-z_j,\ j=\overline{1,N_z},$$

$$\Delta x_i=\frac{1}{2}\left(\Delta x_{i+1/2}+\Delta x_{i-1/2}\right),\ i=\overline{0,N_x},\quad x_1=0,x_{N_{x1}}=x_k,$$

$$N_{x1}=N_x+1,\quad \Delta z_j=\frac{1}{2}\left(\Delta z_{j+1/2}+\Delta z_{j-1/2}\right),\ j=\overline{0,N_z},$$

$$z_1=0,z_{N_{z1}}=H,\quad N_{z1}=N_z+1,$$

$$\Phi^{n+1}_{i,j}=C^{n+1}_{1i,j}F^n_{2i,j}+C^{n+1}_{2i,j}F^n_{ki,j},$$

$$\Psi^{n+1}_{i,j}=C^{n+1}_{3i,j}F^n_{\breve{a}ij}+C^{n+1}_{4i,j}F^n_{ki,j},$$

$$C^{n+1}_{1i,j}=\frac{p^{n+1}_{i,j}c(p^{n+1}_{i,j})\beta}{\mu_z(p^{n+1}_{i,j})z(p^{n+1}_{i,j})},$$

$$C^{n+1}_{2i,j}=\frac{1}{\mu_k(p^{n+1}_{i,j})a_k(p^{n+1}_{i,j})},$$

$$C^{n+1}_{3i,j}=\frac{p^{n+1}_{i,j}[1-c(p^{n+1}_{i,j})\overline{\gamma}(p^{n+1}_{i,j})]\beta}{\mu_z(p^{n+1}_{i,j})z(p^{n+1}_{i,j})},$$

$$C^{n+1}_{4i,j}=\frac{S_k(p^{n+1}_{i,j})}{\mu_k(p^{n+1}_{i,j})a_k(p^{n+1}_{i,j})}$$

Дискретные аналоги начальных и граничных условий (3)-(5) принимают вид:

$$p^0_{i,j}=p_{0i,j},\rho^0_{ki,j}=\rho_{k_0}=0,i=\overline{0,N_x},j=\overline{0,N_z} \qquad (8)$$

$$p^n_{0,j}=p^n_{cj},j=\overline{0,N_z} \qquad (9)$$

$$p^n_{N_x,j}=p^n_{N_{x1},j},p^n_{i,0}=p^n_{i,1},p^n_{i,N_z}=p^n_{i,N_{z1}},i=\overline{1,N_x} \qquad (10)$$

Разностная схема (6)-(7) относительно давления неявная и нелинейная, а по насыщенности явная. Поэтому по давлению $p^{n+1}_{i,j}$ оно может быть решено только итерационным методом. С этой целью уравнения (6) линеаризуем по методу простой итерации [2] и приводим окончательный вид линеаризованной системы уравнений относительно давления $p^{n+1}_{i,j}$:

$$g^v_{i,j}p^{v+1}_{i,j-1}+c^v_{i,j}p^{v+1}_{i-1,j}+a^v_{i,j}p^{v+1}_{i,j}+b^v_{i,j}p^{v+1}_{i+1.j}+f^v_{i,j}p^{v+1}_{i,j+1}=d_{i,j} \qquad (11)$$

Коэффициенты этой системы определяются следующим образом:

$$g^v_{i,j}=e^{-2x_i}k^n_{i-1/2,j}\left(A^n_{i,j}\Phi^v_{i-1/2,j}-\Psi^v_{i-1/2,j}\right)\cdot\frac{1}{\Delta x_i\Delta x_{i-1/2}},$$

$$c^v_{i,j}=k^n_{i,j-1/2}\left(A^n_{i,j}\Phi^v_{i,j-1/2}-\Psi^v_{i,j-1/2}\right)\cdot\frac{1}{\Delta z_j\Delta z_{j-1/2}},$$

$$f^v_{i,j}=e^{-2x_i}k^n_{i+1/2,j}\left(A^n_{i,j}\Phi^v_{i+1/2,j}-\Psi^v_{i+1/2,j}\right)\cdot\frac{1}{\Delta x_i\Delta x_{i+1/2}},$$

$$b^v_{i,j}=e^{-2x_i}k^n_{i,j+1/2}\left(A^n_{i,j}\Phi^v_{i,j+1/2}-\Psi^v_{i,j+1/2}\right)\cdot\frac{1}{\Delta z_j\Delta z_{j+1/2}},$$

$$a^v_{i,j}=-\left(g^v_{i,j}+c^v_{i,j}+f^v_{i,j}+b^v_{i,j}\right)+\varphi^v_{i,j}$$

$$\varphi^v_{i,j}=\frac{1}{\Delta\tau}\left[\left(A^n_{i,j}M'^n_{i,j}-Q'^n_{i,j}\right)+\rho^n_{k,j}\left(A^n_{i,j}B'^n_{i,j}-N'^n_{i,j}\right)\right]$$

$$d^v_{i,j}=\varphi^v_{i,j}\cdot p^v_{i,j}.$$

Видно, что в системе уравнений (11) независимо от граничных условий выполняются следующие соотношения:

$$g^v_{1,j}=f^v_{N_{x+1},j}=0,\qquad j=\overline{1,N_y},$$
$$c^v_{i,1}=b^v_{i,N_{y+1}}=0,\qquad i=\overline{1,N_x} \qquad (12)$$

Учитывая (12), систему (11) можно написать в матричном виде:

$$\mathrm{E}\vec{P}=J \qquad (13)$$

где $\vec{P}$ - неизвестный вектор решение;
E и J - матрицы.

Матрица системы (13) имеет пятидиагональную структуру. Для решения системы используется итерационный поточечный метод Якоби [2]. На каждой итерации по нелинейности решается уравнение для давления и по известным $\rho^n_{ki,j}$, $p^n_{i,j}$ находится $p^{n+1}_{i,j}$. По достижению необходимой точности значения искомых функций на последней итерации принимаются за решение $p^{n+1}_{i,j}$. Далее по явным формулам определяется $\rho^{n+1}_{ki,j}$ с помощью значений $p^{n+1}_{i,j}$ и $\rho^n_{ki,j}$, затем аналогичные вычисления продолжаются на следующем временном слое.

Определение параметра $k(r,z)$ требует решения задачи параметрической идентификации. Для этой цели к системе (1)-(5) необходимо присоединить дополнительное условие:

$$2\pi r_c \int_0^{H_2} \left(V_{zr}+V_{kr}\right)\Big|_{r=r_c} dz = q_c(t) \tag{14}$$

где

$$V_{zr} = k(r,z)\left(\frac{F_z(\rho_k)p\beta\left[1-c(\rho)\bar{\gamma}(p)\right]}{\mu_z(p)z(p)p_{атм}} + \frac{F_k(\rho_k)S_k(p)}{\mu_k(p)a_k(p)}\right)\frac{\partial p}{\partial r}$$

$$V_{kr} = k(r,z)\left(\frac{F_z(\rho_k)p\beta c(\rho)}{\mu_z(p)z(p)p_{атм}} + \frac{F_k(\rho_k)}{\mu_k(p)a_k(p)}\right)\frac{\partial p}{\partial r}$$

Здесь V_{zr} , $V_{кr}$ - скорость фильтрации флюидов в направлении оси r;
r_c - радиус скважины;
$q_c\,(t)$ - дебит скважины.

Для разработки эффективного и устойчивого метода решения обратной задачи (1)-(5), (14) ее можно трансформировать к эквивалентной вариационной постановке [3-5]. Такой подход предполагает сведение соответствующей обратной задачи к задаче на условный экстремум, в частности, к минимизации следующего функционала

$$J(u)=\int_0^T\left[\left\{\int_0^H 2\pi r(V_{zr}+V_{кr})\Big|_{r=r_c}\right\}dz-q_c(t)\right]^2 dt \tag{15}$$

при условиях (1)-(5).

Для параметра $k(r,z)$ можно использовать теоретический закон [3]:

$$k(r,z) = k_0 e^{bz/H} \tag{16}$$

где H - общая мощность продуктивного пласта;
b - логарифм отношения макси-мальной проницаемости k_{max} к минимальному его значению k_0. Здесь коэффиценты b и k_0 подлежат определению.

Для их определения используется выражение (16). Для минимизации (16) предлагается использовать метод сопряженного градиента [4].

По описанной выше расчетной схеме и алгоритму проведены численные расчеты. Для проверки надежности полученного решения необходимым и достаточным является его апробация на каком-либо эталонном решении. В данном случае, было рассмотрено решение прямой задачи о пуске газоконденсатной скважины в эксплуатацию с постоянным забойным давлением, по результатам которых решалась обратная задача.

Прямая задача в случае фильтрации газоконденсатной смеси решалась при следующих исходных данных: r_c = 0.1 м, $R_к$ = 750 м, H = 20 м, p_0 = 40 МПа, $p_c(t)$ = 38 МПа, m = 0.2, b = 3.12, k_0 = 0.05 мкм².

Зависимости параметров газа и конденсата от давления и относительных фазовых проницаемостей от насыщенности взяты из [6].

Результаты расчетов представлены в таблице 1. Приведенная в таблице 1 зависимость $q_c(t)$ при условии $p_c(t) = const$ включает в себя влияние неоднородности пласта по проницаемости, заданной в виде (16) с конкретно принятыми значениями b и k_0. Следовательно, в задачу идентификации входило восстановление значений отмеченных коэффициентов по данным $q_c(t)$ и $p_c = const$.

Таблица 1
Изменения дебита скважины по времени

t, с	1000	4000	8000	15000	30000
$q_c(t)\cdot10^4$ м³/с	87.81	86.43	85.05	83.32	81.6

Результаты проведенной идентификации представлены в таблице 2, которые получены при соответственных начальных приближениях b = 3.6 и k_0 = 0.07 мкм².

Таблица 2
Идентифицируемые параметры b и k_0

Параметры	Точное значение	Расчетное значение
b	3.12	3.091
k_0	0.05	0.051

При найденных расчетных значениях b и k_0 вновь решена прямая задача с прежними исходными данными и результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3
Изменения дебита скважины по времени при различных значениях параметров b и k_0

Время, с	$q_c(t)\cdot10^4$ м³/с	
	k_0 = 0.05; b = 3.12	k_0 = 0.051; b = 3.091
1000	87.81	87.9
4000	86.43	86.5
8000	85.05	85.15
15000	83.32	83.37
30000	81.6	81.675

Как видно, что полученные в результате идентификации параметры неоднородного пласта обеспечили очень высокую точность при прогнозе изменения во времени производительности скважины, что указывает на высокую точность предлагаемого метода.

Вывод:

На основе вариационного подхода решена обратная задача фильтрации газоконденсатной смеси и разработана методика достаточно точного определения параметров неоднородного пласта.

Литература

1. *М.Т.Абасов, Ф.Г.Оруджалиев.* Газогидродинамика и разработка газоконденсатных месторождений. М:Недра, 1989.

(*M.T.Abasov, F.G.Orudjaliyev.* Gasohydrodynamics and exploration of gascondensate fields. M.: Nedra, 1989)

2. *Х.Азиз, Э.Сеттари.* Математическое моделирование пластовых систем. М.: Недра, 1982.

(*Kh.Aziz, E.Settari.* Mathematical simulation of reservoir systems. M.: Nedra, 1982)

3. *Г.И.Джалалов, Т.М.Ибрагимов.* Методы идентификации фильтрационных и емкостных параметров деформируемых пластов при нестационарной фильтрации флюидов. Баку: Элм, 1989.

(*G.I.Jalalov, T.M.Ibragimov.* Metody identifikatsii filtratsionnyh i yemkostnyh parametrov deformiruyemyh plastov pri nestatsionarnoy filtratsii flyuidov. Baku: Elm, 1989.)

4. *Ф.П.Васильев.* Методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1980.

(*F.P.Vasiliev.* Methods of solution of extremal problems. M.: Nauka, 1980)

5. *Б.А.Сулейманов.* Особенности фильтрации гетерогенных систем. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006.

(*B.A.Suleimanov.* Specific features of heterogeneous system flow in porous media. M.-Izhewsk: ICS, 2006. Series: Modern Oil & Gas Technologies)

6. *М.Т.Абасов, Г.И.Джалалов, Х.А.Фейзуллаев.* Идентификация параметров гидродинамической модели газоконденсатной залежи //Известия НАН Азербайджана. Серия "Науки о Земле". -2008. -№2. -С.78-90.

(*M.T.Abasov, G.I.Jalalov, Kh.A.Feyzullayev.* Identifikatsiya parametrov gidrodinamicheskoy modeli gazokondensatnoy zaleji //Izvestiya NAN Azerbaydjana. Seriya "Nauki o Zemle". -2008. -№2. -S.78-90.)

Identification of heterogeneous stratum parameters in gas-condensate mixture filtration

Q.I.Jalalov, Kh.A.Feyzullayev
(Institute Geology of ANAS)

Abstract

Modeling of stratum during gas-condensate mixture filtration has been carried out on the basis of a binary model. For this reason the problem of determination of vertical stratum permeability change has generally been solved in a variational formulation. A design diagram has been developed and numerical experiments have been conducted.

Qazkondensat qarışığının süzülməsi zamanı qeyri-bircinsli layın parametrlərinin identifikasiyası

Q.İ.Calalov, X.A.Feyzullayev
(AMEA Geologiya İnstitutu)

Xülasə

Binar modeli çərçivəsində qazkondensat qarışığının süzülməsi zamanı layın modelləşdirilməsi yerinə yetirilmişdir və onun əsasında layın qalınlığı üzrə keçiriciliyinin kifayət qədər ümumi şəkildə dəyişməsinin təyini məsələsi variasiya qoyuluşunda həll edilərək hesablama sxemi işlənilmiş və ədədi eksperimentlər aparılmışdır.