

1. Гельфанд И. М., Фукс Д. Б. *Когомологии алгебры Ли векторных полей на окружности* // Функц. анализ и его прил. – 1968. – Т. 2. – Вып. 4. – С. 92–93.

2. Гельфанд И. М., Фукс Д. Б. *Когомологии алгебры Ли касательных векторных полей гладкого многообразия*. // Функц. анализ и его прил. – 1969. – Т. 3. – Вып. 3. – С. 32–52.

3. Thurston W. *The geometry and topology of tree-manifolds*. – Princeton University Lecture Notes (1978–1981).

4. Владимиров В. С. *Обобщенные функции в математической физике*. – М.: Наука, 1979.

**В. Р. Гадильшина**

*Институт механики и машиностроения КазНЦ РАН,*

*г. Казань,*

*venera-gadilshina@mail.ru*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ К ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ В КРУГОВОМ ПЛАСТЕ**

Рассматривается процесс неизотермической фильтрации жидкости к вертикальной скважине в круговом пласте. Строится математическая модель с учетом кондуктивного и конвективного переноса тепла, адиабатического расширения, эффекта Джоуля – Томсона, влияния объема ствола скважины и состояния призабойной зоны.

Процесс неизотермической фильтрации описывается следующей системой дифференциальных уравнений в частных производных:

$$\beta^* \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{k}{\mu} r \frac{\partial p}{\partial r} \right), \quad r \in (r_c, R_k), \quad t > 0, \quad (1)$$

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda r \frac{\partial p}{\partial r} \right) + m \rho C_p \eta \frac{\partial p}{\partial t} + \rho C_p \frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial r} \left( \frac{\partial T}{\partial r} + \varepsilon \frac{\partial p}{\partial r} \right), \quad r \in (r_c, R_k), \quad t > 0, \quad (2)$$

с начальными и граничными условиями

$$p(r, 0) = p_k, \quad T(r, 0) = T_k, \quad r \in (r_c, R_k), \quad (3)$$

$$2\pi H \frac{k}{\mu} \left[ r \frac{\partial p}{\partial r} \right]_{r=r_c} = Q + C_w \frac{\partial p}{\partial t}, \quad \left[ r \frac{\partial T}{\partial r} \right]_{r=r_c} = 0, \quad t > 0, \quad (4)$$

$$p(R_k, t) = p_k, \quad T(R_k, t) = T_k. \quad (5)$$

где  $p = p(r, t)$ ,  $T = T(r, t)$  – давление и температура в пласте соответственно;  $p_k$  – пластовое давление;  $T_k$  – пластовая температура;  $Q$  – дебит скважины;  $k$  – проницаемость пласта;  $\mu$  – вязкость жидкости;  $H$  – толщина пласта;  $r_c$  – радиус скважины;  $R_k$  – радиус контура питания;  $C_w$  – коэффициент влияния объема ствола скважины;  $\beta^*$  – упругосжимаемость пласта;  $m$  – пористость пласта;  $C$  – объемная теплоемкость пласта;  $C_p$  – удельная теплоемкость жидкости;  $\rho$  – плотность жидкости;  $\lambda$  – теплопроводность пласта;  $\varepsilon$  – коэффициент Джоуля-Томсона;  $\eta$  – коэффициент адиабатического расширения.

Для решения системы (1) – (5) применяется метод конечных разностей. Область решения покрывается неравномерной сеткой, сгущающейся к скважине; построение такой сетки осуществляется преобразованием координат  $u = \ln r$ .

Проведен анализ влияния теплофизических параметров и объема ствола скважины на кривые изменения забойной температуры после пуска вертикальной скважины. Приведены результаты расчетов для модельного кругового нефтяного пласта с призабойной зоной с улучшенной или ухудшенной проницаемостью.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Азиз Х., Сеттари Э. *Математическое моделирование пластинчатых систем*. – М.: Недра, 1982. – 407 с.
2. Басниев К. С., Власов А. М., Кочипа И. Н. *Подземная гидравлика*. – М.: Недра, 1986. – 303 с.
3. Самарский А. А. *Теория разностных схем*. – М.: Наука, 1977. 611 с.
4. Чекалюк Э. Б. *Термодинамика нефтяного пласта*. – М.: Недра, 1965. – 238 с.

**Е. Г. Глазова, А. В. Кочетков, И. А. Ходыкина**

*Нижегородский национальный исследовательский*

*университет им. Н. И. Лобачевского,*

*hodykinaipna@gmail.com*

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН С ПРОНИЦАЕМЫМИ ПРЕГРАДАМИ**

Методами численного моделирования исследуются процессы прохождения ударной волны через насыпные газопроницаемые слои металлических шариков. Анализируются основные параметры проходящих и отраженных ударных волн: давление, плотность, скорость, температура. Выявляются наиболее значимые факторы, определяющие эти процессы, – вязкость газа, теплообмен между газом и металлом, плотность упаковки шариков.

Вводится декартова система координат  $Oxyz$ , ось  $Oz$  которой направлена перпендикулярно расположенному на твердой поверхности насыпному слою толщиной  $H$ . В направлениях