

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 6, Number 304 (2015), 144 – 149

THE HYDRODYNAMIC PROBLEM OF FLUID MOTION IN THE FINAL FORMATION OF A LINEAR FILTRATION COEFFICIENT

B.S. Hamzina

bolash.kz@mail.ru

Al-Farabi Kazakh National university, Almaty

Key words: modeling, filtration characteristics, reservoir studies, fluids, porosity, translucent.

Abstract. Hydrodynamic modeling of development of deposits is based on use of the mathematical equations received within the solution of a direct problem of an underground hydromechanics and describing process of a filtration in specific conditions.

For the purpose of definition of filtrational characteristics of layer for control and regulation of development conduct hydrodynamic researches of layers and wells which data processing is based on the solution of the return problem of an underground hydromechanics. The underground hydromechanics has extensive areas of the application in other sciences: hydrogeology, engineering geology, hydraulic engineering, etc. In an underground hydromechanics rocks subdivide on permeable and dense. To permeable it is accepted to refer the breeds capable to contain and pass through itself fluids (liquids and gases) at pressure difference creation. Such breeds are called collectors.

Fluids borrow in breed of emptiness (a time, a cavity, a crack), formed at incomplete contact of firm particles from which rock is put. On the origin and on nature of interaction with fluids collectors can be divided into two look: steam and fracture. The most important characteristics of a steam collector are its capacitor properties – porosity and a prosvetnost.

The main characteristics of a fracture collector – density of cracks, a raskrytost of cracks and coefficient of fracture porosity.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В КОНЕЧНОМ ПЛАСТЕ ДЛЯ ЛИНЕЙНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ

Б. С. Хамзина

bolash.kz@mail.ru

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби

Ключевые слова: моделирование, фильтрационных характеристики, исследования пластов, Флюиды, пористость, просветность.

Аннотация. Гидродинамическое моделирование разработки залежей основано на использовании математических уравнений, полученных в рамках решения прямой задачи подземной гидромеханики и описывающих процесс фильтрации в конкретных условиях.

С целью определения фильтрационных характеристик пласта для контроля и регулирования разработки проводят гидродинамические исследования пластов и скважин, обработка данных которых основана на решении обратной задачи подземной гидромеханики. Подземная гидромеханика имеет обширные области приложения в других науках: гидрогеологии, инженерной геологии, гидротехнике и др. В подземной гидромеханике горные породы подразделяют на проницаемые и плотные. К проницаемым принять относить породы, способные вмещать и пропускать через себя флюиды (жидкости и газы) при создании перепада давления. Такие породы называют коллекторами.

Флюиды занимают в породе пустоты (поры, каверны, трещины), образующиеся при неполном контакте твердых частиц, из которых сложена горная порода. По своему происхождению и по характеру

взаимодействия с флюидами коллекторы можно разделить на два вида: поровые и трещинные. Важнейшими характеристиками порового коллектора являются его емкостные свойства – пористость и просветность.

Основные характеристики трещинного коллектора – густота трещин, раскрытость трещин и коэффициент трещинной пористости.

В конечном пласте в отличие от бесконечных пластов задача кольматационной фильтрации может быть поставлена в двух вариантах (например, для одномерной области) $\Omega\{x : 0 \leq x \leq l\}$:

а) на одной из границ задается скорость фильтрации. Эта задача в принципе не отличается от задач в полу бесконечной области;

б) на границах области ($x = 0$ и $x = l$) задаются давления $p_n(t)$ и $p_k(t)$.

Здесь рассмотрим задачу для конечного пласта.

Пусть в первоначально насыщенную однородной жидкостью пористую среду с пористостью ε_0 , длиной l , с $t > 0$ начинает поступать дисперсная жидкость с концентрацией твердых частиц n_0 . Течение флюида происходит под действием градиента давления, создаваемого постоянными давлениями p_n (в $x = 0$) p_k (в $x = l$).

Система уравнений фильтрации дисперсной системы, с учетом отмеченного в одномерном случае, принимается в виде [63]

$$\begin{aligned} \frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v(t)n}{\varepsilon} \right) &= \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} &= (\varepsilon_0 - \varepsilon) \omega_1 (|\nabla p| - |\nabla p_c|) - \omega_2 \varepsilon n, \\ v(t) &= K(\varepsilon) (|\nabla p| - |\nabla p_c|). \end{aligned} \quad (2.3.1)$$

Начальные и граничные условия задачи, исходя из постановки, имеют вид

$$\begin{aligned} n(0, x) &= 0, \quad \varepsilon(0, x) = \varepsilon_0, \quad p(t, 0) = p_n, \\ n(t, 0) &= n_0, \quad p(t, 0) = p_n, \end{aligned} \quad (2.3.2)$$

При достаточно больших t пористость достигает своего стационарного значения. Последнее определяется из второго уравнения (2.3.1) при $\partial \varepsilon / \partial t = 0$:

$$(\varepsilon_0 - \varepsilon) \omega_1 \left(\frac{p_n - p_k}{l} - |\nabla p_c| \right) - \omega_2 n_0 \varepsilon = 0.$$

Решая последнее уравнение относительно ε , находим

$$\varepsilon_{st} = \frac{\varepsilon_0}{1 + \theta},$$

где

$$\theta = \frac{\omega_2 n_0}{\omega_1 \left(\frac{p_n - p_k}{l} - |\nabla p_c| \right)} = \frac{\omega_2 l n_0}{\omega_1 (p_n - p_k - l |\nabla p_c|)}.$$

Из уравнения неразрывности, используя обобщенный закон Дарси, приходим к

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K(\varepsilon) \left(\frac{\partial p}{\partial x} - \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right)_0 \right) \right] = 0,$$

откуда получается уравнение

$$K'(\varepsilon) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \left(\frac{\partial p}{\partial x} - \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right)_0 \right) + K(\varepsilon) \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0. \quad (2.3.3)$$

Уравнение (2.3.3) для $K(\varepsilon) = k_0 \varepsilon$ аппроксимируем следующим конечно-разностным уравнением

$$\frac{\varepsilon_i^j - \varepsilon_{i-1}^j}{h} \left(\frac{p_i^{j+1} - p_{i-1}^{j+1}}{h} - |\nabla p_0| \right) + \varepsilon_i^j \frac{p_{i-1}^{j+1} - 2p_i^{j+1} + p_{i+1}^{j+1}}{h^2} = 0. \quad (2.3.4)$$

Разностное уравнение (2.3.4) можно записать в виде

$$Ap_{i-1}^{j+1} - Bp_i^{j+1} + Cp_{i+1}^{j+1} = -Y_i, \quad (2.3.5)$$

$$A = \varepsilon_{i-1}^j, B = \varepsilon_{i-1}^j - \varepsilon_i^j, C = \varepsilon_i^j, Y_i = (\varepsilon_i^j - \varepsilon_{i-1}^j) |\nabla p_0| h, \quad i = \overline{1, N-1}, i = \overline{0, J-1}.$$

Условия (2.3.2) аппроксимируем так

$$\begin{aligned} n_i^0 &= 0, \varepsilon_i^0 = \varepsilon_0, p_0^{j+1} = p_n, p_l^{j+1} = p_k, n_0^j = n_0, \\ \varepsilon_0^j &= \varepsilon_{st}, p_i^0 = 0, \quad i = \overline{1, I}. \end{aligned} \quad (2.3.6)$$

Расчетная формула для нахождения пористости имеет вид

$$\varepsilon_i^{j+1} = \varepsilon_i^j + \tau (\varepsilon_0 - \tilde{\varepsilon}_{ij}) \omega_1 \left(\frac{|p_i^{j+1} - p_{i-1}^{j+1}|}{h} - |\nabla p_c| \right) - \omega_2 \tilde{\varepsilon}_{ij} \tilde{n}_{ij}, \quad (2.3.7)$$

где

$$\tilde{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2} (\varepsilon_{i-1}^j + \varepsilon_i^j), \quad \tilde{n}_{ij} = \frac{1}{2} (n_{i-1}^j + n_i^j).$$

Для определения концентрации аппроксимируем уравнение баланса

$$\frac{n_i^{j+1} - n_i^j}{\tau} + \frac{v_i^{j+1}}{\varepsilon_0} \frac{n_i^{j+1} - n_{i-1}^{j+1}}{h} = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{\varepsilon_i^{j+1} - \varepsilon_i^j}{\tau}, \quad (2.3.8)$$

а из закона Дарси определяем скорость фильтрации

$$v_i^{j+1} = v_i(t_{i+1}) = k_0 \varepsilon_i^{j+1} \left(\frac{|p_i^{j+1} - p_{i-1}^{j+1}|}{h} - |\nabla p_0| \right). \quad (2.3.9)$$

Из (2.3.8) с учетом (2.3.9) можно получить

$$n_i^{j+1} = \frac{1}{1 + a_{ij}} \left[n_i^j + a_{ij} n_{i-1}^{j+1} + \frac{1}{\varepsilon_0} (\varepsilon_i^{j+1} - \varepsilon_i^j) \right], \quad (2.3.10)$$

где

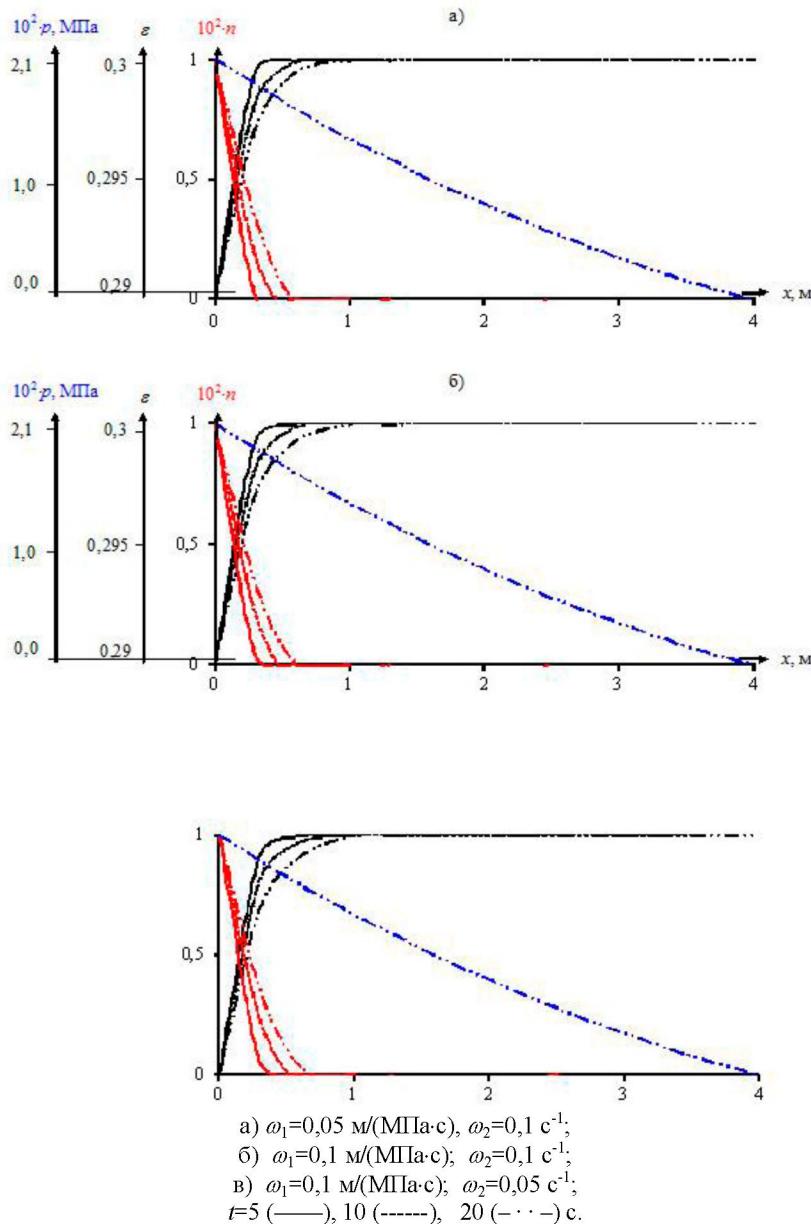
$$a_{ij} = \frac{tk_0 \varepsilon_i^{j+1}}{h^2 \varepsilon_0} (|p_i^{j+1} - p_{i-1}^{j+1}| - h |\nabla p_0|).$$

Вычислительный процесс организуется так: решая (2.3.5) определяется давление на $j+1$ -ом слое, из уравнения (2.3.7) определяется текущая пористость ε_i^{j+1} , а затем из уравнения (2.3.10) - текущая концентрация частиц в потоке - n_i^{j+1} .

По формулам (2.3.5) - (2.3.10) проводились численные расчеты при различных значениях параметров p_n , ω_1 , ω_2 . Во всех расчетах $h = 0,01$ м, $\varepsilon_0 = 0,3$, $k_0 = 1,0$ м²/(МПа·с), $|\nabla p_0| = 0,001$ МПа/м, $|\nabla p_c| = 0,015$ МПа/м, $l = 4$ м, $p_k = 0$. Для двух значений $p_n = 0,75$; 0,021 МПа рассмотрены варианты расчетов при а) $\omega_1 = 0,05$ м/(МПа·с), $\omega_2 = 0,1$ с⁻¹, б) $\omega_1 = 0,1$, $\omega_2 = 0,1$, в) $\omega_1 = 0,1$, $\omega_2 = 0,05$.

Результатами расчетов установлено, что при очень медленных течениях, когда текущий градиент давления меньше предельного суффозионного градиента давления суффозионной процесс не развивается.

На рис. 1, 2 приведены графики зависимостей p , ε , n при различных ω_1 , ω_2 . На рис. 10 текущий $|\nabla p|$ меньше $|\nabla p_c|$, а на рис. 11 $|\nabla p| > |\nabla p_c|$. Из графиков видно, что при отсутствии суффозионных эффектов профили ε и n являются крутыми, а при $|\nabla p| > |\nabla p_c|$ они более пологи. Скорость распространения переднего фронта профилей в последнем случае больше, чем в случае $|\nabla p| < |\nabla p_c|$.

Рисунок 1 - Изменение ε , n , p при $p_n=0,021 \text{ МПа}$

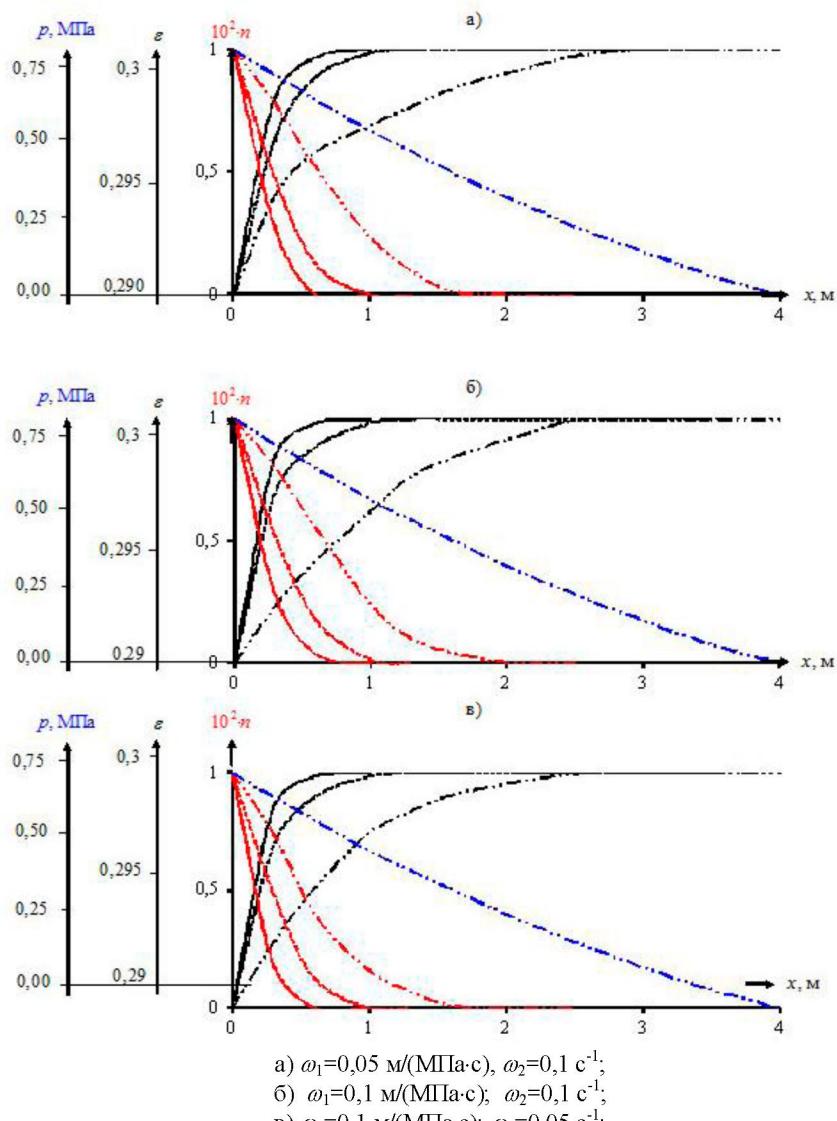


Рисунок 2 - Изменение ε , n , p при $p_n=0,75 \text{ МПа}$

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Минц Д.М. Фильтрация молокоцентрированных водных суспензий через зернистые слои. Науч.тр. Акад. коммун. хоз. им. К.Д.Памфилова, вып. 2-3, 1951.
- [2] Шехтман Ю.М. Фильтрация молокоцентрированных суспензий. М.: Изд. АН СССР. 1961. – 212 с.
- [3] Хужаёров Б.Х. Модель фильтрации суспензии, учитывающая супфузию и кольматацию // В сб. «Математические модели и численные методы нелинейных колебаний», Тр. СамГУ. 1990. с.78-81.
- [4] Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Розенберг Г.Д. Нефтегазовая гидромеханика: Учебник для вузов. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. - 480 с.
- [5] Басниев К.С., Коцкина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика. – М.: Недра, 1993. – 416 с.
- [6] Дмитриев Н.М., Кадет В.В., Разбегина Е.Г. Методические указания к выполнению курсовых работ по дисциплине подземная гидромеханика. – М.: нефть и газ, 1998. - 61 с.
- [7] Евдокимова В.А., Коцкина И.Н. Сборник задач по подземной гидравлике. – М.: Недра, 1979. - 166 с.
- [8] Пыхачев Г.Б., Исаев Р.Г. Подземная гидравлика. – М.: Недра, 1973. – 360 с.
- [9] Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б. Подземная гидравлика. – М.: Гостоптехиздат, 1949. – 358 с.
- [10] Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 396 с.
- [11] Баренблatt Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в пластах. – М.: Недра, 1984. - 270 с.
- [12] Коллинз Р. Течение жидкости через пористые материалы. – М.: Мир, 1964. – 207 с.
- [13] Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. – М.: Недра, 1982. – 407 с.

- [14] Йосс Ж, Джозеф Д. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций М.: Мир, 1983. 304 с.
- [15] Линь Цзя-цзяо. Теория гидродинамической устойчивости.-М.: Изд-во иностр. лит., 1958. – 195 с.
- [16] Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод / П.Я. Полубаринова-Кочина: учеб. пособие для университетов по специальности «Механика». – М.: Наука, 1977.– 664 с.
- [17] Прусов И.А. Двумерные краевые задачи фильтрации /И.А. Прусов. – Минск: Университетское, 1987. – 181 с.
- [18] Дразин Ф. Введение в теорию гидродинамической устойчивости. М.: Физматлит, 2005. 287 с.
- [19] Каневская Р. Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов : Учебное пособие для вузов / Р. Д. Каневская .— М. ; Ижевск : Ин-т комп'ют. исслед., 2003 .— 128 с.
- [20] Щелкачев В. Н. Подземная гидравлика: Учебное пособие для вузов / В.Н.Щелкачев, Б.Б.Лапук .— М.; Ижевск : РХД, 2001 .— 735 с.

REFERENCES

- [1] Mintz of D. M. Filtration the molokotsentrirovannykh of water suspensions through granular layers. Nauch.Tr. Akkad. communes. хоз. of K.D.Pamfilova, вып. 2-3, 1951.
- [2] Shekhtman Yu.M. Filtration molokotsentrirovannykh of suspensions. M.: Prod. Academy of Sciences of the USSR. 1961. – 212 pages.
- [3] Huzhayorov B. H. Model of a suspension filtration considering a suffusion and a kolmatation//On Saturday. "Mathematical models and numerical methods of nonlinear fluctuations", Tr. СамГУ. 1990. page 78-81.
- [4] Basniyev K.S., Dmitriyev N. M., Rosenberg G. D. Oil and gas hydromechanics: The textbook for higher education institutions. – Moscow-Izhevsk: Institute of computer researches, 2003. - 480 pages.
- [5] Basniyev K.S., Kachin I.N., Maximov V. M. Underground hydromechanics. – M.: Subsoil, 1993. – 416 pages.
- [6] Dmitriyev N.M., V.V., Razbegin E.G. Cadet. Methodical instructions to performance of term papers on discipline an underground hydromechanics. – M.: oil and gas, 1998. - 61 pages.
- [7] Evdokimova V.A., I.N's Kachin. Collection of tasks in underground hydraulics. – M.: Subsoil, 1979. - 166 pages.
- [8] Pykhachev G. B., Isaev R. G. Underground hydraulics. - M.: Subsoil, 1973. – 360 pages.
- [9] Shchelkachev V. N., Lapuk B. B. Underground hydraulics. – M.: Gostoptekhizdat, 1949. – 358 pages.
- [10] Charny I.A. Underground hydraulic gas dynamics. – M.: Gostoptekhizdat, 1963. – 396 pages.
- [11] Barenblatt G. I., Entov V. M., V. M. Saffron milk cap the movement of liquids and gases in layers. – M.: Subsoil, 1984.-270 pages.
- [12] Collins R. Techeniye of liquid through porous materials. – M.: World, 1964. – 207 pages.
- [13] Aziz X., Settari E. Mathematical modeling of sheeted systems. – M.: Subsoil, 1982. – 407 pages.
- [14] Jos, Joseph D. Elementary theory of stability and M.'s bifurcations: World, 1983. 304 pages.
- [15] Lin Jia-tszyao. Theory of hydrodynamic stability. - M.: Publishing house иностр. литас., 1958. – 195 pages.
- [16] Polubarinova-Kochina P. Ya. Theory of the movement of ground waters / P. Ya. Polubarinova-Kochina: studies. a grant for universities as "Mechanic". – M.: Science, 1977. – 664 pages.
- [17] Prusov I.A. Two-dimensional regional problems of filtration/I.A. Prusov. – Minsk: University, 1987. – 181 pages.
- [18] Drazin F. Introduction to the theory of hydrodynamic stability. M.: Fizmatlit, 2005. 287 pages.
- [19] Kanevskaya R. D. Mathematical modeling of hydrodynamic processes of development of fields of hydrocarbons: Manual for higher education institutions / R. D. Kanevskaya. — M.; Izhevsk: Ying t kompt. 2003. — 128 pages.
- [20] Shchelkachev V. N. Underground hydraulics: Manual for higher education institutions / V. N. Shchelkachev, B. B. Lapuk. — M.; Izhevsk: RHD, 2001. — 735 pages.

Сызықтық сүзгі коэффициентінің қабатқа сұйық заттың қозғалыс үшін түпкі гидродинамикалық міндет

Б. С. Хамзина

bolash.kz@mail.ru

Әл-Фараби атындағы Қазақ Үлтткың университеті

Тірек сөздер: модельдеу, сіну сипаттамалары, зерттеу, құбылығыштар, қабаттар, кеуектілік просветность.

Аннотация. Шоғырлардың игерудің гидродинамикалық математикалық модельдеу пайдалануға негізделген және нақты жағдайларында міндеттерді шешу аясында алынған тендеу, тікелей гидромеханиканы реактордан тыс және жерасты Сүзгілеу процесі.

Игерудің реттеудің гидродинамикалық зерттеулер жүргізеді, сіну сипаттамаларын анықтау мақсатында үнғыма, олардың міндеттері мен бақылау үшін қаттардың және деректердің өндеге қабатты жерасты гидромеханиканы көрі шептүге негізделген. Жер асты гидромеханика Облыстың басқа үлкен бағдарламалары бар қатарға жіктелуі мүмкін: гидрогеология, инженерлік геология, гидротехнике және т.б. Өтімді болатын гидромеханике немесе жер астындағы тау жыныстары және тығызы. Өтімді болатын тұқым арқылы өткізуге қабілетті құбылығыштар (сұйықтар мен газдар) қысым жасау кезінде қысымның өзін сыйдыру және койылатын жатқызуға қабылданды. Мұндай тұқымның коллекторлармен деп атайды.