ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ФАРҒОНА ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

FarDU.
ILMIY
XABARLAR-

1995 йилдан нашр этилади
Йилда 6 марта чиқади

5-2018
октябрь

НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК.
ФерГУ

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

М У Н Д А Р И Ж А

Аниқ ва табиий фанлар

МАТЕМАТИКА

ФИЗИКА, ТЕХНИКА

КИМЁ

БИОЛОГИЯ, ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИ

ГЕОГРАФИЯ, ТУПРОҚШУНОСЛИК

Ижтимоий-гуманитар фанлар

ИҚТИСОДИЁТ

ТАРИХ

ФИЗИКА, ТЕХНИКА

УДК: 621.3

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТРЕХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

А.Абдукадиров, Г.Акрамова

Аннотация

В статье рассмотрены конструкции явной / неявной схемы численного решения региональных задач нестационарной трехфазной фильтрации.

Аннотация

Мақолада стационар бўлмаган уч фазали фильтрлашнинг минтақавий муаммоларини рақамли ҳал қилиш учун очиқ / ёпиқ схема қурилиши кўриб чиқилган.

Annotation

The construction of an explicit / implicit scheme for the numerical solution of regional problems of non-stationary three-phase filtration is considered in the article.

Ключевые слова и выражения: *математическая модель, численная модель, региональная задача, метод возможных разностей, разностные диаграммы, явные / неявные графики нелинейных алгебраических уравниваний.*

Таянч сўз ва иборалар: *математик модель, сонли модель, минтақавий муаммолар, мумкин бўлган фарқлар усули, фарқлар диаграммаси, нолинияли алгебраик тенглаштиришларнинг очиқ / ёпиқ графиклари.*

Keywords and expressions: *mathematical model, numerical model, regional problem, method of possible differences, difference diagrams, explicit / implicit graphs of nonlinear algebraic equalizations.*

Математические модели нестационарной фильтрации трехфазных жидкостей должны учитывать растворимость газа в нефти и воде, изменение слоев проницаемости до изменения фаз насыщения, поверхностные силы между ними, интерференцию горных скважин, влияние гравитационной силы.

Локальная задача не имеет точного аналитического решения. Причина нелинейности этих выравниваний в этой фазовой проницаемости для насыщения нефти, газа и воды. Они зависят, кроме свойств фаз, и от коллекционных свойств породы. Предоставление общих аналитических связей невозможно. Следуя [1.5-32], можно считать, что относительная фазовая проницаемость для газа зависит только от коэффициента газа до насыщения, относительной фазовой проницаемости для воды - только от коэффициента водонасыщения и относительной фазовой проницаемости для нефти - как из коэффициента газа до насыщения и от насыщения водой. Таким образом, можно принять

$$K_g = K_g(S_g),\ K_w = K_w(S_w),\ K_o = K_o(S_g, S_w).$$

Численное решение задачи может быть приблизительно получено методом возможных различий.

Численное решение локальной задачи получим методом экономичных разностных диаграмм. Таким образом, мы используем явный / неявный график учета: очевидно, на давление, очевидно, на насыщение. Для расчета значений давления в точке $\left(x_{l_1}, y_{l_2}, z_{l_3}, t_{l_4}\right)$ пространственно-временной сетью мы используем третье выравнивание системы. В соответствии с теорией экономической разности, переход прохождения слоя к слою происходит с помощью решения уравнивания

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda_g\left(\frac{\partial P_g}{\partial x} - \gamma_g \frac{\partial z}{\partial x}\right)\right] = \frac{1}{3}\frac{\partial}{\partial t}\left[m\left(\rho_g S_g + \rho_o S_o\right)\right] +$$

$$+\frac{1}{3}\sum_{i=1}^{N} q_{g_i}\delta(x - x_i, y - y_i) + \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{N} R_s q_{o_i}\delta(x - x_i, y - y_i).$$

Аппроксимируя производные, входящие в эти уравнивания с соответствующими конечноразностными аналогами, мы получаем

А.Абдукадиров – *Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий, канд.физ.мат.наук, доцент.*

Г.Акрамова – *Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий, преподаватель кафедры информационных технологий.*

систему нелинейных уравниваний из трех диагональных матриц, решение которой методом подстройки изложено выше в работах [2.52-56;3].

Переход от слоя $t = t_{l_4+1/3}$ к слою $t = t_{l_4+2/3}$ реализуется путем решения уравнения

$$\frac{\partial}{\partial y}\left[\lambda_g\left(\frac{\partial P_g}{\partial y} - \gamma_g\frac{\partial z}{\partial y}\right)\right] = \frac{1}{3}\frac{\partial}{\partial t}\left[m\left(\rho_g S_g + \rho_o S_o\right)\right] +$$

$$+\frac{1}{3}\sum_{i=1}^{N} q_{g_i}\delta(x - x_i, y - y_i) + \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{N} R_s q_{o_i}\delta(x - x_i, y - y_i),$$

и переход от слоя $t = t_{l_4+2/3}$ к $t = t_{l_4+1/3}$.

$$\frac{\partial}{\partial z}\left[\lambda_g\left(\frac{\partial P_g}{\partial z} - \gamma_g\frac{\partial z}{\partial y}\right)\right] = \frac{1}{3}\frac{\partial}{\partial t}\left[m\left(\rho_g S_g + \rho_o S_o\right)\right] +$$

$$+\frac{1}{3}\sum_{i=1}^{N}\left(q_{g_i} + R_s q_{o_i}\right)\delta(x - x_i, y - y_i).$$

решение этого уравнивания системы происходит как в предыдущем случае. Согласно теории экономических разностных диаграмм, решение последнего уравнивания с соответствующими пограничными терминами устанавливает близкое решение трехмерной задачи. Разъяснение решения выполняется как решение двумерной задачи [4].

После получения с требуемой точностью стоимости $P\left(x_{l_1}, y_{l_2}, z_{l_3}, t_{l_4}\right)$ значения насыщения вычисляются с помощью задачи Коши [2,3].

При применении этого метода для приближения всех трех уравниваний используется неочевидная диаграмма, в результате которой получается система семидиагональных нелинейных алгебраических уравниваний вида

$$F_{l_1,l_2,l_3}(u_{l_1,l_2,l_3}, u_{l_1+1,l_2,l_3}, u_{l_1-1,l_2,l_3},$$

$$u_{l_1,l_2-1,l_3}, u_{l_1,l_2+1,l_3}, u_{l_1,l_2,l_3-1}, u_{l_1,l_2 l_3+1}) = 0$$

Тогда решение этих системных уравниваний может быть получено одним из методов систем решения нелинейных алгебраических уравниваний, например, методом Ньютона.

Для получения системы, аппроксимирующей выравнивание системы в сети

$$D_{h_1h_2h_3} \cup \omega_\tau = \left\{(x_{l_1}, y_{l_2}, z_{l_3}),\ x_{l_1} + h_1, y_{l_2+1} = y_{l_2} + h_2, z_{l_3+1} = z_{l_3} + h_3\right\} \cup$$

$$\cup\left\{t_{l_4} : t_{l_4} = t_{l_4-1} + \tau\right\}$$

мы вводим следующие обозначения:

$$x_{l_1+1/2} = 0.5\ (x_{l_1} + x_{l_1+1}),\quad y_{l_2+1/2} = 0.5\ \ (y_{l_2} + y_{l_2+1}),$$

$$z_{l_3+1/2} = 0.5\ (z_{l_3} + z_{l_3+1}),$$

$$P_{o_{l_1,l_2,l_3}} = P_o(x_{1_1}, y_{l_2}, z_{l_3}, t_{l_4}),$$

$$P_{w_{l_1,l_2,l_3}} = P_w(x_{1_1}, y_{l_2}, z_{l_3}, t_{l_4}),$$

$$P_{g_{l_1,l_2,l_3}} = P_g(x_{1_1}, y_{l_2}, z_{l_3}, t_{l_4}).$$

и мы обозначим их значения дефисом из предыдущего временного слоя.

Интеграция системы уравниваний по объему

$$d_{l_1l_2l_3} : \left\{x_{l_1-1/2} \le x \le x_{l_1+1/2};\ y_{l_2-1/2} \le y \le y_{l_2+1/2}; z_{l_3-1/2} \le z \le z_{l_3+1/2}\right\}$$

к соединению с сетевым узлом, в каждом узле мы получим систему трех разностных уравниваний:

$$F_o = \rho_o S_o m - \overline{\rho}_o \overline{S}_o \overline{m} - \frac{\tau}{h_1}\left[\left(\lambda_o P_o^{'}\right)_{l_1+1/2} - \left(\lambda_o P_o^{'}\right)_{l_1-1/2}\right] -$$

$$-\frac{\tau}{h_2}\left[\left(\lambda_o P_o^{'}\right)_{l_2+1/2} - \left(\lambda_o P_o^{'}\right)_{l_2-1/2}\right] - \frac{\tau}{h_3}\left[\left(\lambda_o P_o^{'}\right)_{l_3+1/2} - \left(\lambda_o P_o^{'}\right)_{l_3-1/2}\right] - \tilde{q}_o \delta_{l_1 l_2} + \tilde{F}_o = 0,$$

$$F_w = \rho_w S_w m - \overline{\rho}_w \overline{S}_w \overline{m} - \frac{\tau}{h_1}\left[\left(\lambda_w P_w^{'}\right)_{l_1+1/2} - \left(\lambda_w P_w^{'}\right)_{l_1-1/2}\right] -$$

$$-\frac{\tau}{h_2}\left[\left(\lambda_w P_w^{'}\right)_{l_2+1/2} - \left(\lambda_w P_w^{'}\right)_{l_2-1/2}\right] - \frac{\tau}{h_3}\left[\left(\lambda_w P_w^{'}\right)_{l_3+1/2} - \left(\lambda_w P_w^{'}\right)_{l_3-1/2}\right] - \tilde{q}_w \delta_{l_1 l_2} + \tilde{F}_w = 0,$$

$$F_g = m\left(\rho_g S_g + \rho_o S_o\right) - \overline{m}\left(\overline{\rho}_g \overline{S}_g + \overline{\rho}_o \overline{S}_o\right) + \frac{\tau}{h_1}\left[\left(\lambda_g P_g^{'}\right)_{l_1+1/2} - \left(\lambda_g P_g^{'}\right)_{l_1-1/2} + \left(\lambda_{so} P_o^{'}\right)_{l_1+1/2} - \left(\lambda_{so} P_o^{'}\right)_{l_1-1/2}\right] +$$

$$+\frac{\tau}{h_2}\left[\left(\lambda_g P_g^{'}\right)_{l_2+1/2} - \left(\lambda_g P_g^{'}\right)_{l_2-1/2} + \left(\lambda_{so} P_o^{'}\right)_{l_2+1/2} - \left(\lambda_{so} P_o^{'}\right)_{l_2-1/2}\right] +$$

$$+\frac{\tau}{h_3}\left[\left(\lambda_g P_g^{'}\right)_{l_3+1/2} - \left(\lambda_g P_g^{'}\right)_{l_3-1/2} + \left(\lambda_{so} P_o^{'}\right)_{l_3+1/2} - \left(\lambda_{so} P_o^{'}\right)_{l_3-1/2}\right] +$$

$$+\tilde{q}_g \delta_{l_1 l_2} + \tilde{F}_g = 0.$$

Здесь для удобства записи индексов переменных (l_1, l_2, l_3) не указаны; $\widetilde{q}_o, \widetilde{q}_g, \widetilde{q}_o$ соответствовать вставке члена

$$q_i(x, y, z) = \frac{dQ_i}{dz}\delta(x - x_i, y - y_i).$$

Потому что при каждом выравнивании функции среднее значение d_{l_1, l_2, l_3} , тот, который

$$\frac{1}{h_1 h_2 h_3}\iiint q\,dx\,dy\,dz = \frac{1}{h_1 h_2}\frac{Q_{l_1 l_2 l_3 + 1/2} - Q_{l_1 l_2 l_3 - 1/2}}{h_3},$$

из этой корреляции $\widetilde{q}_o, \widetilde{q}_g, \widetilde{q}_o$ (для всех случаев выражения типа).

Обозначая через F столбец, $(F_o, F_g, F_w)'$, через $\bigcup$ столбец $(P_o, S_w, S_g)'$ каждой точки сети, мы имеем систему уравниваний.

Для решения этой системы уравниваний мы используем метод Ньютона.

Если обозначить через $\overset{(S)}{\bigcup}$ векторных решений на S-ой итерации и $\delta \bigcup$ - s его увеличение при переходе к $(S+1)$ - итераций, то $(S+1)$ - то приближение может быть определено по формуле $\overset{(S+1)}{\bigcup} = \overset{(S)}{\bigcup} + \delta \bigcup$.

Согласно методу Ньютона, это увеличение является решением системы линейных уравниваний:

$$\frac{\partial F_{l_1l_2l_3}}{\partial \bigcup_{l_1l_2l_3}}\delta \bigcup_{l_1l_2l_3} + \frac{\partial F_{l_1l_2l_3}}{\partial \bigcup_{l_1+1,l_2l_3}}\delta \bigcup_{l_1+1,l_2l_3} +$$
$$+\frac{\partial F_{l_1l_2l_3}}{\partial \bigcup_{l_1-1,l_2l_3}}\delta \bigcup_{l_1-1,l_2l_3} + \frac{\partial F_{l_1l_2l_3}}{\partial \bigcup_{l_1l_2+1,l_3}}\delta \bigcup_{l_1l_2+1,l_3} +$$
$$+\frac{\partial F_{l_1l_2l_3}}{\partial \bigcup_{l_1l_2-1,l_3}}\delta \bigcup_{l_1l_2-1,l_3} + \frac{\partial F_{l_1l_2l_3}}{\partial \bigcup_{l_1l_2l_3+1}}\delta \bigcup_{l_1l_2l_3+1} +$$
$$+\frac{\partial F_{l_1l_2l_3}}{\partial \bigcup_{l_1l_2l_3-1}}\delta \bigcup_{l_1l_2l_3-1} = F_{l_1l_2l_3},$$

Согласно методу Ньютона, это увеличение является решением системы линейных уравниваний,

$$\frac{\partial F_{l_1l_2l_3}}{\partial \bigcup_{l_1l_2l_3}} = \begin{vmatrix} \frac{\partial f_o}{\partial P_o} & \frac{\partial F_o}{\partial S_w} & \frac{\partial F_o}{\partial S_g} \\ \frac{\partial F_w}{\partial P_o} & \frac{\partial F_w}{\partial S_w} & \frac{\partial F_w}{\partial S_g} \\ \frac{\partial F_g}{\partial P_o} & \frac{\partial F_g}{\partial S_w} & \frac{\partial F_g}{\partial S_g} \end{vmatrix}.$$

Значения выражений, выходящих в этих выравниваниях в полу белых узлов, определяются по формулам, аналогичным следующему (по направлениям):

$$(\lambda_o P_o^{'})_{l_1+1/2} = \lambda_{l_1+1/2}\frac{P_{i+1}-P_i}{h_1}.$$

для близости и вязкости

$$\left(\frac{\rho}{\mu}\right)_{l_1+1/2} = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{\rho}{\mu}\right)_{l_1} + \left(\frac{\rho}{\mu}\right)_{l_1+1}\right],$$

и относительные проницаемости

$$K_{l_1+1/2} = \begin{cases} K_{l_1} & \text{если} \quad P_{l_1+1} - P_{l_1} < 0, \\ K_{l_1+1} & \text{если} \quad P_{l_1+1} - P_{l_1} \geq 0. \end{cases}$$

Таким образом, все производные вычисляются в точке (l_1, l_2, l_3).

Элементы вышесказанных матриц легко вычисляются из выражения функций F_o, F_g, F_w. Однако они очень громоздки, поэтому здесь не приводились.

Таким образом, при применении явного / неявного метода численное решение трехмерной трехфазной задачи фильтрации берется для последовательного решения трех одномерных уравнений, для схемных и алгоритмических решений, аналогичных двумерному.

Литература:

1. Lipaev V.V. Reliability software (overview of the concepts) // Automation and telemehanika. - 1986. - № 10.
2. Minayeff Y.N. Application of fuzzy logic to evaluate the reliability of software computers // Electronic modelirovanie.- 1986.- 8. 1.
3. -81 GOST 27.201.. Reliability of the technique. Performance Evaluation of reliability for a small number of observations using additional information.

(Рецензент: С.Отажонов – доктор физико-математических наук, профессор).