

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО
И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО АРХИТЕКТУРЕ И
СТРОИТЕЛЬСТВУ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**



**Самаркандский государственный архитектурно-строительный институт
имени Мирзо Улугбека**

**Материалы международной научно-технической конференции
«Современное состояние и перспективы развития
строительной механики на основе компьютерных
технологий и моделирования»
(посвященной 80-летию академика АН РУз Т.Ш. Ширинкулова)**

**(академик Т. Ширинкуловнинг 80 йиллик юбилейига бағишланган)
«Компьютер технологияси ва моделлаштиришга
асосланган қурилиш механикасининг замонавий ҳолати ва
ривожланиш истиқболлари» мавзусидаги
халқаро илмий-техник конференция материаллари
(2017 йил 16 - 17 июн)**

САМАРКАНД – 2017

© Самаркандский государственный архитектурно-строительный институт – 2017 год.

ОРГКОМИТЕТ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Ахмедов Султан Илясович, ректор Самаркандского государственного архитектурно-строительного института.

Зам. председателя:

Исаков Э.Х. - проректор по НИР СамГАСИ

Абдусаматов Б.К. - проректор по ФиЭ СамГАСИ

Рахимов А.Р. - проректор по Уч.Р СамГАСИ

Сопредседатели:

Рашидов Т.Р., акад. АНРУз (Узбекистан);

Холмуродов Р.И., проф. (Узбекистан);

Задоян М.А., акад. АН РА (Армения);

Пробедря Б.Е., акад. РАН (Россия);

Зарецкий Ю.К., проф. (Россия);

Абдурашидов К.С., проф. (Узбекистан);

Тер-Мартиросян, проф. (Россия);

Тураев Х.Ш., проф. (Узбекистан);

Дасибеков А., проф. (Казахстан).

Члены оргкомитета:

проф. Султанов К.С., проф. Мавланов Т., проф. Мирсаидов М., проф. Акилов Ж.А., проф. Хужаёров Б.Х., проф. Айнабеков О.А. (Шымкент), проф. Маматкулов Ш.М., проф. Ризаев А., проф. Тюреходжаев А.Н. (Алма-Ата), проф. Раззаков С.Р., проф. Сафаров И., проф. Абдусаттаров А.А., проф. Марданов Б.М., проф. Хасанов А.З., Эшматов Х., проф. Абиров А., проф. Худойназаров Х., проф. Эшонходжаев А.А., д.т.н. Исмаилов К., доц. Тошев С.К., доц. Байзаков А., доц. Кулдашев А.Т., доц. Мамасолиев К., доц. Кондратьев В.А., начальник ОПНИПК СамГАСИ Хушвактов У.А.

“ u ”ning o’rniga uning ma’lum qiymati “ u_0 ”ni qo’yib birinchi yaqinlashish bo’yicha yechim $u_1(x)$ ni topamiz:

$$y_1 = 1 + \int_{x_0}^x (x + y) dx = 1 + x + \frac{x^2}{2}$$

(8) ga asosan

$$y_2 = 1 + \int_0^x \left(x + 1 + x + \frac{x^2}{2} \right) dx = 1 + x + x^2 + \frac{x^3}{6}$$

Xuddi shuningdek u_3 va u_4 ni ham hisoblasak

$$y_3 = 1 + \int_0^x \left(x + 1 + x + x^2 + \frac{x^3}{6} \right) dx = 1 + x + x^2 + \frac{x^3}{3} + \frac{x^4}{24}$$

$$y_4 = 1 + \int_0^x \left(x + 1 + x + x^2 + \frac{x^3}{3} + \frac{x^4}{24} \right) dx = 1 + x + x^2 + \frac{x^3}{3} + \frac{x^4}{12} + \frac{x^5}{120}$$

Berilgan misoldagi tenglama chiziqli birinchi tartibli differensial tenglama bo’lganligi sababli aniq yechimini topishimiz imkoni bor:

$$y_4 = 2e^x - x - 1 = 1 + x + x^2 + \frac{x^3}{3} + \frac{x^4}{12} + \frac{x^5}{60} + \dots$$

Bundan ko’rinadiki taqribiy yechimlar u_3 va u_4 aniq yechimdan faqat oxirgi hadlari bilan farq qiladilar. Yuqoridagi teorema shartlari bajarganligi sababli bu misol uchun Pikar algoritmi yaqinlashuvchi bo’ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Verjbitskiy V. M. Chislenniye metodi (matematicheskii analiz i obiknovenniye differentsialniye uravneniya): Ucheb. posobiye dlya vuzov. – M.: OOO Izdatelskiy dom «ONIKS 21 vek», 2005. – 400 s.: il.

2. Tixonov A. N., Samarskiy A.A., Uravneniya matematicheskoy fiziki, “Nauka”, M., 1972.

3. Ladijenskaya O.A., Krayeviye zadachi matematicheskoy fiziki, “Nauka”, M., 1973.

ЗАДАЧА ФИЛЬТРАЦИИ СУСПЕНЗИИ С ОБРАЗОВАНИЕМ ОСАДКА ВНУТРИ ФИЛЬТРА

Махмудов Ж.М., Шадмонов И.Э.,
Умиров Б.Б.

Самаркандский государственный
университет, г. Самарканд

Для проектирования и управления технологическими процессами особо важное значение имеет изучение соответствующих гидродинамических моделей.

Здесь в соответствии с [1] рассматривается пористая среда следующими составляющими:

- 1) подвижная жидкость;
- 2) взвешенные частицы примесей, перемещающиеся вместе с потоком жидкости;
- 3) неподвижная жидкость, связанная осевшими частицами;
- 4) неподвижные частицы примесей, осевшие в межзерновом пространстве.

При составлении модели используются общие принципы механики многофазных систем [2].

Степень заполнения порового объема частями фильтруемой системы определяется объемными долями S_k

$$S_k = \frac{V_k}{V_{пор}}, \quad k = 1, 2, 3, 4, \quad (1)$$

где V_k - объем k -ой части фильтруемой системы, $V_{пор}$ - объем пор элементарного объеме пористой среды. Значения индекса k соответствуют номерам частей среды. Составляющие фильтруемой среды условно назовем фазами.

Считаем, что поровый объем полностью заполняется фазами системы

$$S_k = 1 \quad (2)$$

Величины S_k назовем насыщенностью среды соответствующими фазами.

Предполагается, что жидкость и частицы несжимаемы. Тогда справедливо уравнение неразрывности

$$\operatorname{div} \vec{U} = 0. \quad (3)$$

Рассматривается односкоростная модель, когда скорости жидкости и частиц считаются равными. Тогда скорости фаз 1, 2 определяются через общую скорость следующим образом

$$\vec{U}_k = \frac{S_k}{S_1 + S_2} \vec{U}, \quad k=1,2. \quad (4)$$

Связь скорости фильтрации \vec{U} с градиентом давления p определяется законом Дарси

$$\vec{U} = -\frac{k(S_3, S_4)}{\mu(c)} \nabla p, \quad (5)$$

где $k(S_3, S_4)$ - проницаемость среды, $\mu(c)$ - вязкость суспензии, c - концентрация частиц в подвижной жидкости, $c = \frac{S_2}{S_1 + S_2}$.

В [3] скелет пористой среды и суспензия считаются несжимаемыми. Однако, в реальных условиях, как пористая среда, так и жидкость являются сжимаемыми. В небольшом диапазоне изменения давлений их можно считать слабосжимаемыми.

Суспензия состоит из жидкости и взвешенных в ней твердых частиц. Считаем, что жидкость является сжимаемой. Твердые взвешенные частицы по сравнению с жидкостью являются малосжимаемыми. Поэтому здесь сжимаемость твердых частиц в суспензии и осадке не учитывается. Плотность несущей жидкости в суспензии обозначим через ρ_f , а ее частиц через ρ_p . Тогда плотность суспензии ρ_{sus} с концентрацией твердых частиц c определяется как

$$\rho_{sus} = (1-c)\rho_f + c\rho_p. \quad (6)$$

Обычно для сжимаемых жидкостей зависимость ρ_f от давления определяется как [3, 4]

$$\rho_f = \rho_0 \exp(\beta_f(p - p^0)), \quad (7)$$

где ρ_0 - плотность жидкости при $p = p^0$, β_f - коэффициент сжимаемости.

Для слабосжимаемых жидкостей из (7) получаем

$$\rho_f = \rho_0 [1 + \beta_f(p - p^0)]. \quad (8)$$

С учетом (8) из (6) получаем

$$\rho_{sus} = (1-c)\rho_0 [1 + \beta_f(p - p^0)] + c\rho_p. \quad (9)$$

Заметим, что в соответствии со схемой заполнения порового пространства различными фазами [1] имеем

$$c = \frac{S_2}{S_1 + S_2}, \quad 1-c = \frac{S_1}{S_1 + S_2}. \quad (10)$$

Тогда, с учетом (10) из (9) имеем ($p^0 = 0$)

$$\rho_{sus} = \frac{\rho_0(1 + \beta_f p)S_1 + \rho_p S_2}{S_1 + S_2}. \quad (11)$$

Плотность потока жидкости из первой в третью фазу обозначим через $J_{1,3}$, плотность потока кольматации обозначим $J_{2,4}$, а через $J_{4,2}$ обозначим плотность потока суффозии.

Напишем уравнения неразрывности для подвижных фаз. В процессе движения суспензии происходит отток массы жидкости и частиц из суспензии в осадок и частичный приток частиц из осадка в суспензию. При учете консолидации осадка происходит также частичный приток жидкости из осадка в подвижные фазы (суспензию). Здесь явление консолидации не рассматривается. Поэтому приток жидкости не учитывается. Отток массы жидкости из суспензии в осадок выражается через плотность оттока жидкости $J_{1,3}$, т.е. $-\rho_f J_{1,3}$. Отток массы частиц из суспензии в осадок выразим через плотности потока кольматации и суффозии, т.е. $-\rho_f(J_{2,4} - J_{4,2})$. Тогда общий отток массы определяется как $-\rho_f J_{1,3} - \rho_p(J_{2,4} - J_{4,2})$. С учетом выражения $J_{1,3}$ [1] общий отток массы выражается как

$$\begin{aligned}
q &= -\rho_f J_{1,3} - \rho_p (J_{2,4} - J_{4,2}) = \\
&= -\rho_f \frac{\varepsilon_0}{1-\varepsilon_0} (J_{2,4} - J_{4,2}) - \rho_p (J_{2,4} - J_{4,2}) = \\
&= -\frac{(\varepsilon_0 \rho_f + (1-\varepsilon_0)\rho_p)}{1-\varepsilon_0} (J_{2,4} - J_{4,2}) = \quad (12) \\
&= -\frac{\rho_{dep}}{1-\varepsilon_0} (J_{2,4} - J_{4,2}),
\end{aligned}$$

где $\rho_{dep} = \varepsilon_0 \rho_f + (1-\varepsilon_0)\rho_p$ - плотность осадка.

Уравнение сохранения массы с учетом оттока массы (12) имеет вид

$$m_0 \frac{\partial(S_1 + S_2)\rho_{sus}}{\partial t} = -div(\rho_{sus} \vec{U}) + q \quad (13)$$

Подставляя в (13) \vec{U} из закона Дарси (5), ρ_{sus} из (11) и q из (12) получим

$$m_0 \frac{\partial}{\partial t} [\rho_f S_1 + \rho_p S_2] - div[\Omega(p, S_1, S_2) grad p] = -\frac{\rho_{dep}}{1-\varepsilon_0} (J_{2,4} - J_{4,2}) \quad (14)$$

где

$$\Omega(p, S_1, S_2) = k_0 \frac{\rho_0 (1 + \beta_f p) S_1 + \rho_p S_2}{\mu_0 \left(S_1 + \frac{7}{2} S_2 \right)} \left[1 + \sqrt{1 - (S_1 + S_2)} \right]^3$$

$$, \quad J_{2,4} = \alpha \frac{S_2}{S_1 + S_2}, \quad J_{4,2} = \beta S_4, \quad \alpha \text{ и } \beta$$

определены в [1].

Напишем теперь уравнения сохранения массы для каждой фазы [1], т.е. система уравнений относительно насыщенностей S_k , $k = \overline{1,4}$ имеет вид

$$m_0 \frac{\partial S_1 \rho_f}{\partial t} = -div(\rho_f (1-c)\vec{U}) - \rho_f J_{1,3},$$

$$m_0 \frac{\partial S_2}{\partial t} = -div(c\vec{U}) - J_{2,4} + J_{4,2},$$

$$m_0 \frac{\partial \rho_f S_3}{\partial t} = \rho_f J_{1,3}, \quad (15)$$

$$m_0 \frac{\partial S_4}{\partial t} = J_{2,4} - J_{4,2}.$$

К уравнениям (15) надо добавить соотношение

$$\sum_{k=1}^4 S_k = 1. \quad (16)$$

Уравнение (14) в одномерном случае решается при условиях $p(0, x) = 0$, $p(t, 0) = p_0$, $p(t, \infty) = 0$, $p_0 = \text{const.}$ (17)

Для насыщенностей принимаются следующие начальные и граничные условия $S_1(0, x) = 1$, $S_2(0, x) = S_3(0, x) = S_4(0, x) = 0$, $\frac{S_2}{S_1 + S_2} \Big|_{x=0} = c_0 = \text{const.}$ (18)

Определив поле давления из (14) находим U из закона Дарси. Затем решая второе, третье, четвертое уравнения и используя (16) находим S_k , $k = \overline{1,4}$.

Ввиду нелинейности задачи для ее решения используем метод конечных разностей [5].

Результаты расчетов показывают, что сжимаемость приводит к неоднородному распределению скорости фильтрации по простиранию пласта, на насыщенности среды различными фазами оказывает слабое влияние. В зависимости от значений кинетических коэффициентов можно получить осадки твердых частиц в пористой среде, имеющих различные относительные объемы и структуры. Увеличение значений α приводит к интенсификации явлений кольматации, а увеличение β - к интенсификации явлений суффозии. Увеличение кольматации (или суффозии) приводит к общему перераспределению насыщенностей всех фаз.

Литература

1. Носков М.Д., Зайцева М.С., Истомина А.Д., Лукашевич О.Д. Математическое моделирование работы скорых фильтров // Вестник ТГАСУ, № 2, 2008. С. 126 - 137.
2. Нигматуллин Р.И. Динамика многофазных сред. М.:Наука, 1987. Ч.1. - 464 с.
3. Chen Z., Huan G., Ma Y. Computational Methods for Multiphase Flows in Porous Media. SIAM. Texas. USA. 2006
4. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Теория нестационарной