

стенках трубы, K — коэффициент, учитывающий изменение давления за счет смешивания потоков жидкости.

Таким образом, получаем замкнутую систему трех уравнений (1), (3), (4) для нахождения трех неизвестных функций $q(z)$, $v(z)$ и $p(z)$. В общем случае эта система может быть решена только численно, например, с помощью метода конечных разностей.

При приближенном решении данной системы поступим следующим образом. Изменение скорости притока жидкости $q(z)$ в трубу определяется характером распределения ее зон перфорации вдоль стенки трубы. При неравномерном расположении N перфорационных зон по длине трубы зависимость $q(z)$ можно аппроксимировать следующей функцией:

$$q(z) = q_i \quad \text{при} \quad z_i < z < z_i + h_i \quad (5a)$$

$$q(z) = 0 \quad \text{при} \quad z_i + h_i < z < z_i + 1 \quad (5b)$$

Здесь h_i — длина i -й перфорационной зоны, $h_i < (z_{i+1} - z_i)$, q_i — скорость притока жидкости через i -ю перфорационную зону ($i = 1, 2, \dots, N$).

Тогда из уравнения (1) следует, что изменение скорости потока жидкости $v(z)$ по трубе будет следующим:

$$v(z) = v_i + (2q_i/R)(z - z_i) \quad \text{при} \quad z_i < z < z_i + h_i, \quad (6a)$$

$$v(z) = v_i + 1 \quad \text{при} \quad z_i + h_i < z < z_i + 1, \quad (6b)$$

где $v_i + 1 = v_i + (2q_i/R)h_i$ — значение скорости в конце i -й перфорационной зоны, $v_i + 1/2 = v_i + (q_i/R)h_i$ — значение скорости в середине i -й перфорационной зоны. Приближенно интегрируя уравнение (2), найдем значение давления $p_i + 1/2$ в конце i -й перфорационной зоны и значение давления $p_i + 1$ в начале $(i+1)$ -й перфорационной зоны

$$p_{i+1/2} = p_i - \rho(v_{i+1}^2 - v_i^2)/2 - (\rho/4R)(fv_{i+1/2}^2 + 2RKq_i v_{i+1/2})h_i, \quad (7a)$$

$$p_{i+1} = p_{i+1/2} - (\rho/4R)(fv_{i+1}^2)(z_{i+1} - (z_i + h_i)). \quad (7b)$$

И, наконец, уравнение (3) в форме закона Старлинга позволяет связать скорость притока жидкости q_i через i -ю перфорационную зону с величиной перепада давления $(p_i - p_c)$ в этой зоне. Данное уравнение для проницаемой стенки трубы имеет вид

$$q_i = -k(p_i - p_c) \quad \text{при} \quad z_i < z < z_i + h_i \quad (8)$$

Из уравнений (5)–(8) можно найти распределение притока жидкости в трубу $q(z)$, скорости потока жидкости вдоль трубы $v(z)$ и давления в трубе $p(z)$, последовательно находя решение для первой ($i = 1$), второй ($i = 2$) и т. д. перфорационных зон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Регирер С. А. О приближенной теории течения вязкой несжимаемой жидкости в трубах с пористыми стенками. — Изв. ВУЗов. Математика, 1962, № 5 (30), с. 65–74. // *Regierer S. A. Approximate theory of the flow of a viscous incompressible fluid in pipes with porous walls. — Izvestiya vuzov. Mathematics, 1962, № 5 (30), p. 65–74.*
2. Чесноков Ю. Г. Течение жидкостей по трубам с проницаемыми стенками при наличии проскальзывания на стенке. — Изв. СПбГТИ (ТУ), 2018, № 47 (73), с. 102–107. // *Chesnokov Yu. G. The flow of fluids through tubes with permeable walls in the presence of slippage on the wall. — Izvestiya SPbGTI (TU), 2018, № 47 (73), p. 102–107.*
3. Гамзаев Х. М. Моделирование нестационарного течения несжимаемой жидкости в перфорированном трубопроводе. — Вестник Томского государственного университета. Математика и механика, 2021, № 72, с. 60–69. // *Gamzaev Kh. M. Simulation of an unsteady flow of an incompressible fluid in a perforated pipeline. — Bulletin of Tomsk State University. Mathematics and Mechanics, 2021, № 72, p. 60–69.*

-
4. *Joshi S. D.* Horizontal Well Technology - Tulsa, OK, USA, 1991, 535 p.
 5. *Ouyang L. B.* Single phase and multiphase fluid flow in horizontal wells. Stanford: Stanford University, 1998.

UDC 532.542.3

DOI https://doi.org/10.52513/08698325_2022_29_1_1

Astafev V. I. (Samara, "Samara Research and Design Institute of Oil Production").
Modeling of the viscous fluid flow through pipes with permeable walls.

Abstract: the basic equations of motion of a viscous incompressible fluid along horizontal permeable pipeline and methods for solving.

Keywords: viscous incompressible fluid, horizontal pipes, permeable walls.