

УДК 536.532

Хусаинова Гузалия Ядкарровна, доцент, к.ф.-м.н
(СФ БашГУ, г. Стерлитамак)
Khusainov Guzaliya Jadkarovna, Associate professor, PhD of Physical and
Mathematical Sciences
(SB of BashSU, Sterlitamak)

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ФИЛЬТРАЦИИ АНОМАЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

STUDYING OF LAWS OF A FILTRATION OF ABNORMAL LIQUIDS

Аннотация

Рассмотрены основные законы фильтрации аномальных жидкостей и границы применимости линейного закона фильтрации.

Abstract

Organic laws of a filtration of abnormal liquids and borders of applicability of the linear law of a filtration are considered.

При рассмотрении фильтрации аномальных жидкостей существенную роль играет пористая среда. Взаимодействие фильтрующейся жидкости с материалом скелета приводит к изменению свойств жидкости (например, ее вязкости) или пористой среды [1]. Указанные эффекты взаимодействия ведут к фильтрационным аномалиям и в этом случае речь идет уже не о фильтрации аномальной жидкости, а об аномальном поведении системы “жидкость - пористая среда”.

Линейный закон фильтрации был открыт в середине прошлого века известным французским гидравликом Дарси на основании проведенных им опытов [2]. Он устанавливает связь векторов скорости фильтрации \vec{v} и градиента давления P (массовые силы не учитываются)

$$\vec{v} = -\frac{k}{\mu} \text{grad}P. \quad (1)$$

Закон Дарси может быть выведен на основе предположения о том, что в поровом пространстве пористой среды происходит медленное движение вязкой жидкости. Он справедлив, когда фильтруется однородная жидкость, обладающая ньютоновской вязкостью, скорость и градиенты давления малы, число Рейнольдса не превышает критического значения, за которым теряет силу линейная связь скорости и градиента давления [3].

Если, учитывая формулу М.Д. Миллионщикова, ввести

$$Re = \rho v \sqrt{k} / (\mu m \sqrt{m}),$$

то в зависимости от структуры пористых сред закон Дарси применим вплоть до значений $Re=0,022-0,29$.

В процессе этих исследований показано [3], что можно выделить верхнюю и нижнюю границы применимости закона Дарси и соответствующие им две основные группы причин.

Верхняя граница определяется группой причин, связанных с проявлением инерционных сил при достаточно высоких скоростях фильтрации.

Учет инерционных эффектов приводит к двучленному закону фильтрации

$$gradP = -\frac{\mu}{k} \bar{v} (1 + \beta v) \quad (2)$$

Нижняя граница определяется проявлением неньютоновских реологических свойств жидкости, ее взаимодействием с твердым скелетом пористой среды при достаточно малых скоростях фильтрации.

С учетом этого Мирзаджанзаде А.Х. предложил феноменологическую теорию фильтрации вязкопластичной жидкости, в основе которой лежит линейная модель вязкопластичной сплошной среды. Движение указанной сплошной среды описывается следующим законом фильтрации:

$$\bar{v} = -\frac{k}{\mu} \left(1 - \frac{G_0}{|gradP|}\right) gradP, \quad |gradP| > G_0; \quad (3)$$
$$\bar{v} = 0, \quad |gradP| \leq G_0.$$

Предельное значение G_0 определяет ту величину градиента давления, по достижении которой начинается движение жидкости; при меньших значениях градиента движение отсутствует. Его значение определяется соотношением

$$G_0 = \frac{\alpha \tau_0}{\sqrt{k}}, \quad (4)$$

где α - некоторая постоянная, k - проницаемость, τ_0 - предельное напряжение сдвига. Зависимость (1) отличается своей простотой, достаточно изучен и применимость экспериментально доказана. И поэтому положено нами в основу исследования температурных полей при фильтрации аномальных жидкостей.

Процесс фильтрации аномальной жидкости в пористой среде происходит следующим образом [4]. В пористой среде, состоящей из множества микрокапилляров различных диаметров, при снижении перепада давления начинается постепенное "закупоривание" капилляров. Вначале движение прекращается в наиболее мелких капиллярах, а по мере снижения давления происходит закупоривание все больших и больших капилляров. Чем сильнее разброс пор, тем более растянут переход к

полному прекращению движения и тем сильнее отличается истинный закон фильтрации от соотношения (1). В основе проявления неньютоновских свойств пластовых систем лежат различные физические механизмы. Важно, однако, что аномальные эффекты проявляются при малых скоростях фильтрации и в средах с малым размером пор, т.е. с малой проницаемостью. Это определяет особенности неньютоновской фильтрации в неоднородных пластах. Области малой проницаемости оказываются областями наибольшего проявления неньютоновских эффектов.

Наряду с изучением фильтрации аномальных жидкостей, большое внимание привлекают особенности движения в пористых средах полимерных растворов [3]. Изучение их важно как для процессов химической технологии, так и для нефтяной промышленности, где загущение воды полимерами используется для повышения эффективности вытеснения нефти водой. Закон фильтрации для этих жидкостей имеет вид:

$$\text{grad}P = -\frac{\mu}{k} \bar{v} \left(\frac{v}{v_0} \right)^{n-1} = -C v^\alpha \frac{\bar{v}}{v}, \quad (5)$$

где C - экспериментальная константа, $n > 0$.

Для изучения фильтрации грунтовых вод В.В.Сокольским [3] предложен закон

$$-\frac{k}{\mu} \nabla P = \bar{v} / \sqrt{1 - c^2 v^2}, \quad (6)$$

где c - некоторый параметр.

При $c = 0$ имеем закон Дарси, при $c \neq 0$ существует предельно возможная скорость фильтрации $v = 1/c$. Она достигается лишь при бесконечно большом градиенте давления.

Список литературы

1. Мирзаджанзаде А.Х., Баренблатт Г.И., Ентов В.М. и др. О возможном влиянии начального градиента давления на разработку многопластовых газовых и газоконденсатных месторождений при водонапорном режиме // Известия вузов. Серия "Нефть и газ". 1970. № 1. С. 39–49.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Ковалев А.П., Зайцев Ю.В. Особенности эксплуатации месторождений аномальных нефтей. М.: Недра. 1972. 200 с.
3. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. М.: Недра. 1972. 288 с.
4. Хусаинова Г.Я. Исследование температурных полей при фильтрации аномальных жидкостей. / Автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Уфа, 1998. С. 14.