

ЛИТЕРАТУРА

1. Крокко Л. Одномерное рассмотрение газовой динамики установившихся течений.— В кн.: Основы газовой динамики. М.: Изд-во иностр. лит., 1963, с. 64.
2. Зимонт В. Л., Острась В. Н. Торможение в псевдоскачке при сверхзвуковом течении в канале.— Тр. 4-х чтений Ф. А. Цандера. М., 1978, с. 37.
3. Зимонт В. Л., Острась В. Н. Расчет псевдоскачка в цилиндрическом канале.— Уч. зап. ЦАГИ, 1974, т. 5, № 3, с. 40.
4. Козлов В. Е., Сабельников В. А. Численный метод расчета турбулентных струйных течений в каналах в приближении пограничного слоя.— Тр. ЦАГИ, 1979, вып. 1982, 27 с.
5. Гогин Л. В., Степанов Г. Ю. Турбулентные отрывные течения. М.: Наука, 1979. 367 с.
6. Кузнецов В. Р., Лебедев А. Б., Секундов А. Н., Смирнова И. П. Расчет турбулентного диффузионного факела горения с учетом пульсаций концентрации и архимедовых сил.— Изв. АН СССР. МЖГ, 1977, № 1, с. 30.
7. Патанжар С. В., Сполдинг Д. Б. Тепло- и массообмен в пограничных слоях. М.: Энергия, 1971. 127 с.
8. Oh Y. H., Bushnell D. M. Influence of external disturbances and compressibility on free turbulent mixing.— NASA Langley Research Center, NASA SP-397.
9. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. М.: Физматгиз, 1960. 715 с.
10. Расцупкин В. И., Секундов А. Н. О применимости приближения пограничного слоя для расчета плоского турбулентного слоя смешения.— Изв. АН СССР. МЖГ, 1976, № 5, с. 35.
11. Гимранов Э. Г., Тарасов Ф. Ф. О длине псевдоскачка.— Тр. Уфим. авиац. ин-та, 1975, вып. 73, с. 86.
12. Neumann E. P., Lustwerk F. Supersonic diffusers for wind tunnels.— J. Appl. Mech., 1949, v. 16, № 2, p. 195.
13. Острась В. Н., Пензин В. И. Экспериментальное исследование силы трения в канале при наличии псевдоскачка.— Уч. зап. ЦАГИ, 1974, т. 5, № 2, с. 151.
14. Гурьев В. Г., Трифионов А. К. Псевдоскачок в простейшем воздухозаборнике в виде цилиндрической трубы.— Уч. зап. ЦАГИ, 1976, т. 7, № 1, с. 130.

Москва

Поступила в редакцию
26.VI.1980

УДК 532.546

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ПРОБОПРИЕМНИКА ПРИ ОПРОБОВАНИИ ПЛАСТОВ ПРИБОРАМИ НА КАБЕЛЕ

СЕМЕНОВ А. В., ФИОНОВ А. И.

О фильтрационных свойствах исследуемых пород обычно судят по изменению давления в пробоприемнике (баллоне) опробователя, соединенном в единую гидравлическую систему с пластом. Широко распространен способ изучения коллекторских пластов по потоку, основанный на том, что известной депрессией из пласта вызывается приток, по характеру и интенсивности которого определяют свойства пласта [1].

В [1, 2] исследовался процесс восстановления давления без учета влияющего на динамику восстановления объема сжимающегося в приборе фильтра.

В статье исследуется восстановление давления в пласте с учетом баллона опробователя, чему ранее практически не уделялось внимания.

Сформулируем задачу для притока однофазной жидкости.

До момента $t=0$ в однородном полубесконечном пласте существовал стационарный приток, вызванный большой возмущающей емкостью, с профилем давлений

$$t=0, \quad p=p_0 r_c/r \quad (1)$$

где p_0 — депрессия или разность давлений между пластом и стоком, r_c — радиус полусферического стока.

В момент $t=0$ приток в возмущающую емкость прекращается, при этом отсекается объем жидкости v , в дальнейшем участвующий в процессе восстановления. Из пласта продолжается приток, дожимающий жидкость до пластового давления, при этом масса жидкости в объеме v возрастает [1]

$$r=r_c, \quad \frac{dM}{dt} = q\rho = 2\pi r_c^2 \rho k\mu^{-1} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (2)$$

Здесь q – объемный дебит жидкости из пласта, M , ρ – масса и плотность жидкости в объеме v , k – коэффициент проницаемости пласта, μ – вязкость жидкости. Учитывая уравнение состояния жидкости [3] $\rho = \rho_0 \exp[\beta(p-p_0)]$, где β – сжимаемость, ρ_0 – плотность жидкости при давлении p_0 , получим изменение массы жидкости

$$r=r_c, \quad \frac{dM}{dt} = v \frac{\partial \rho}{\partial t} = v \rho \beta \frac{\partial p}{\partial t} \quad (3)$$

Таким образом, начиная с $t=0$ дебит из пласта уменьшается из-за снижения депрессии согласно граничному условию, полученному из (2) и (3):

$$r=r_c, \quad t>0, \quad \frac{\partial p}{\partial r} = K \frac{\partial p}{\partial t}, \quad K = v \beta \mu (2\pi r_c^2 k)^{-1} \quad (4)$$

Давление в пласте восстанавливается согласно пьезометрическому уравнению [3]

$$\frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + 2r^{-1} \frac{\partial p}{\partial r} = \kappa^{-1} \frac{\partial p}{\partial t}, \quad \kappa = k(\mu \beta^*)^{-1} \quad (5)$$

где κ – коэффициент пьезопроводности, а β^* – упругоёмкости пласта; до пластового давления равного нулю.

Перепишем задачу (1), (4), (5) в изображениях Лапласа – Карсона [4]

$$\frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + 2r^{-1} \frac{\partial p}{\partial r} = \kappa^{-1} s \left(p + p_0 \frac{r_c}{r} \right) \quad (6)$$

$$r=r_c, \quad \frac{\partial p}{\partial r} = K s \left(p + p_0 \frac{r_c}{r} \right) \quad (7)$$

Задача (6), (7) имеет решение

$$p = -p_0 \frac{r_c}{r} - \frac{p_0 \exp[-\sqrt{s/\kappa} (r-r_c)]}{Kr(a_1-a_2)} \left(\frac{1}{\sqrt{s+a_1}} - \frac{1}{\sqrt{s+a_2}} \right) \quad (8)$$

$$a_1 = a - ib, \quad a_2 = a + ib, \quad a = (2K\sqrt{\kappa})^{-1}, \quad b = a(4\kappa Kr_c^{-1} - 1)^{1/2}$$

Согласно [4], представим оригинал в виде

$$p = -p_0 \frac{r_c}{r} \left\{ \operatorname{erf} \xi + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \exp[2a\xi\sqrt{t} + (a^2 - b^2)t] \times \right. \\ \left. \times \int_{\xi+a\sqrt{t}}^{\infty} \left[1 + (\xi+a\sqrt{t}) \frac{a\sqrt{t}}{x^2} \right] \exp \left[-x^2 + (\xi+a\sqrt{t}) \frac{b^2 t}{x^2} \right] dx \right\}, \quad \xi = \frac{r-r_c}{2\sqrt{\kappa t}} \quad (9)$$

Решение на стоке ($r=r_c$) имеет вид

$$p = -p_0 \frac{2}{\sqrt{\pi}} \exp[(a^2 - b^2)t] \int_{a\sqrt{t}}^{\infty} \left(1 + \frac{a^2 t}{x^2} \right) \exp \left[-x^2 + \left(\frac{abt}{x} \right)^2 \right] dx \quad (10)$$

Из (8) при помощи асимптотических теорем операционного исчисления получим приближенные зависимости $p(t)$ на стоке для больших и малых времен восстановления

$$t \gg 1, \quad p \approx -p_0 r_c (\pi \kappa t)^{-1/2} \quad (11)$$

$$t \ll 1, \quad p \approx -p_0 [1 - (r_c K)^{-1} t] \quad (12)$$

Задача о восстановлении давления в возмущенном пласте при нулевом аппаратном объеме описывается уравнением (5) с граничными условиями (1), (4) при $v=0$.

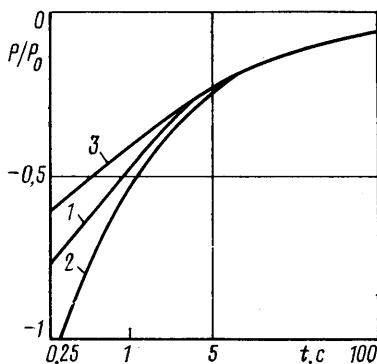
Решение этой задачи при $r=r_c$ имеет вид [4]

$$p = -p_0 \exp(\kappa t r_c^{-2}) \operatorname{erfc}[(\kappa t)^{1/2} r_c^{-1}] \quad (13)$$

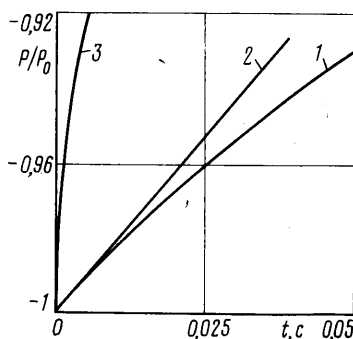
На фиг. 1 приведено сопоставление решений (10) (кривая 1) и приближений (11), (13) (кривые 2, 3) для больших времен, а на фиг. 2 решение (10) сопоставляется с приближениями (12), (13) для малых времен (кривые 1-3 соответственно). В расчетах использованы следующие значения параметров:

$$a=b=1, \quad r_c \kappa^{-1/2}=1, \quad (r_c K)^{-1}=2.$$

Видно, что начальная ветвь кривой в первую очередь зависит от свойств пробы, конечная — от свойств пласта, а в целом на кривую влияют как те, так и другие свойства.



Фиг. 1



Фиг. 2

Учитывая, что сжимаемость пластовых жидкостей колеблется в довольно широких пределах $(0,49 \div 3,14) \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 \text{ н}^{-1}$ по начальной ветви кривой, используя выражение (12), можно оценивать упругие свойства пробы.

Независимость асимптотики (11) от аппаратурной емкости (v) позволяет определять свойства пласта даже при наличии емкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бродский П. А., Фионов А. И., Тальнов В. Б. Опробование пластов приборами на кабеле. М.: Недра, 1974. 208 с.
2. Moran J. H., Finklea E. E. Theoretical analysis of pressure phenomena associated with wireline formation tester. — Petr. Techn., 1962, v. 14, № 8, p. 899–908.
3. Пыхачев Г. В., Исаев Р. Г. Подземная гидравлика. М.: Недра, 1973. 359 с.
4. Диткин В. А., Кузнецов П. И. Справочник по операционному исчислению. М.: Гостехиздат, 1951, 2550.

Октябрьский

Поступила в редакцию
25.VI.1980

УДК 532.546

ФИЛЬТРАЦИЯ К СКВАЖИНАМ В ДОЛИНАХ РЕК С ЗАИЛЕННЫМ РУСЛОМ

САЗОНОВ А. Б.

Рассматривается трехмерная стационарная задача о движении грунтовых вод в полуограниченном по мощности пласте водоносного грунта при откачке из скважины, расположенной вблизи реки. Задача решается в приближенной постановке — граничные условия на свободной поверхности и на дне водоема сносятся на горизонтальную плоскость. Считается, что заиленность и неоднородность русловых отложений в фильтрационном отношении проявляются одинаково и могут учитываться обобщенно коэффициентом α в граничном условии импедансного вида для пьезометрического напора H [1]. Для простоты скважина моделируется точечным стоком, грунт предполагается однородным и изотропным. Задача рассматривается в рамках линейной потенциальной теории, основанной на законе Дарси, результаты численных расчетов представлены в виде графиков.