

ПРИТОК ЖИДКОСТИ В СКВАЖИНУ В УСЛОВИЯХ ЗОНАЛЬНО-НЕОДНОРОДНОГО ПЛАСТА

Рассмотрен вопрос о влиянии изменения фильтрационных свойств околоскважинной зоны продуктивного пласта (ОЗП) на радиус контура r_k питания и на дебит скважины. Показано, что с ухудшением свойств ОЗП размеры зоны пласта, дренируемой скважиной, уменьшаются, поэтому снижение притока жидкости в скважину с учетом изменения r_k менее интенсивно, чем без учета этого фактора.

The effect of changes in filtration properties of the near-well producing zone (NWPZ) on the reservoir external boundary radius (r_k) and on the well production rate is considered. On the basis of analytical calculations it is demonstrated that the dimensions of the drained reservoir zone decrease with impairment of the NWPZ properties. Therefore, with due account of r_k changes, the fluid inflow reduces to a less extent than without regard for r_k changes.

Расчеты по определению притока жидкости в добывающие скважины с применением формулы Дюпюи ведутся, как правило, при допущении, что радиус контура (радиус зоны пласта, дренируемой скважиной) принимается равным половине расстояния между двумя скважинами. При сетке размещения скважин 500×500 м радиус контура $r_k = 250$ м. Физический радиус скважины r_c при расчетах обычно принимается равным 0,1 м. В то же время продуктивные пласты в области дренирования двух скважин, забои которых удалены друг от друга на определенные расстояния, могут характеризоваться различными значениями проницаемостей в околоскважинных (ОЗП) и удаленных (УЗП) зонах (зонально-неоднородные пласты). Изменению проницаемости и других свойств ОЗП способствуют различные процессы и явления при первичном и вторичном вскрытии пласта, а также при эксплуатации скважин. Очевидно, что изменение проницаемости ОЗП должно отразиться на размерах той части пласта, которую дренирует та или иная скважина. Соответственно, с изменением r_k изменяется приток жидкости в скважину, определяемый по формуле Дюпюи. Для оценки влияния изменения фильтрационных ха-

рактеристик ОЗП на размеры зоны дренирования и на приток жидкости в скважину, т.е. на ее дебит, рассмотрим следующий пример: сетка добывающих скважин равномерная, 500×500 м; давление на контуре (на границе зоны влияния скважины) $P_{пл} = 18$ МПа; давление на забое скважины при работе ее в установившемся режиме $P_0 = 15$ МПа; радиус гидродинамически совершенной скважины по долоту $r_c = 0,1$ м; радиус контура (однородный пласт) $r_k = 250$ м; пьезопроводность пласта $\chi = 0,1$ м²/с.

Давление в пласте от стенки скважины до границы зоны ее влияния изменяется по формуле, график которой называют воронкой депрессии:

$$P = \frac{P_{пл} \ln \frac{r}{r_c} + P_0 \ln \frac{r_k}{r}}{\ln \frac{r_k}{r_c}}, \quad (1)$$

где P – давление на расстоянии r от скважины.

После остановки скважины для получения кривой восстановления давления (КВД) давление на забое со временем будет увеличиваться. Примем, что послеприток в скважину после ее остановки отсутствует.

Для условий однородного пласта забойное давление через время t_i будет равно давлению, имевшему место при работе скважины на расстоянии r_i от нее, при этом

$$t_i = r_i^2 / (\pi\chi). \quad (2)$$

Задаваясь рядом значений r_i , найдем по формуле (1) соответствующие значения P_i и по формуле (2) значения t_i , после чего можно построить КВД в координатах $P_i - t$.

Допустим, что проницаемость k , гидропроводность K и пьезопроводность ОЗП $K_{\text{ОЗП}}$ в радиусе 5 м от скважины уменьшаются в 2 и в 5 раз по отношению к значениям этих показателей для более удаленной зоны пласта. Давление на границе двух зон неоднородного пласта найдем в предположении, что радиус контура работавшей при установившемся режиме скважины сохранился ($r_k = 250$ м) и что давления $P_{\text{пл}}$ и P_0 не изменились. Тогда

$$P = \frac{P_{\text{пл}} \ln \frac{r_{\text{ОЗП}}}{r_c} + \frac{k_{\text{ОЗП}}}{k} P_0 \ln \frac{r_k}{r_{\text{ОЗП}}}}{\ln \frac{r_{\text{ОЗП}}}{r_c} + \frac{k_{\text{ОЗП}}}{k} \ln \frac{r_k}{r_{\text{ОЗП}}}}$$

Распределение давления в ОЗП

$$P = \frac{P_{\text{ОЗП}} \ln \frac{r}{r_c} + P_0 \ln \frac{r_{\text{ОЗП}}}{r}}{\ln \frac{r_{\text{ОЗП}}}{r_c}},$$

где $P_{\text{ОЗП}}$ – давление на расстоянии $r_{\text{ОЗП}}$ от скважины; $r_{\text{ОЗП}}$ – радиус ОЗП; $r_c < r < r_{\text{ОЗП}}$.

Распределение давления в удаленной зоне

$$P = \frac{P_{\text{пл}} \ln \frac{r}{r_{\text{ОЗП}}} + P_{\text{ОЗП}} \ln \frac{r_k}{r}}{\ln \frac{r_k}{r_{\text{ОЗП}}}},$$

где $r_{\text{ОЗП}} < r < r_k$.

Для построения КВД значения времени t_i получим по формуле (2) для ОЗП, приняв пьезопроводность этой зоны соответственно 0,05 и 0,02 м²/с для рассматриваемых двух

случаев неоднородного пласта. Для всей дренируемой части пласта время t_i равно сумме значений времени прохождения волны возмущения через ОЗП ($t_{\text{ОЗП}}$) и через пласт в зоне от $r_{\text{ОЗП}}$ до r_i ($r_{\text{ОЗП}} < r_i < r_k$). Для этой части пласта можно записать

$$t_{\text{узп}} = \frac{r_i^2}{\pi\chi} - \frac{r_{\text{ОЗП}}^2}{\pi\chi} = \frac{1}{\pi\chi} (r_i^2 - r_{\text{ОЗП}}^2).$$

Общее время $t_i = t_{\text{ОЗП}} + t_{\text{узп}}$.

При задаваемых r_i для ОЗП и удаленной части пласта после определения значений P_i и t_i строятся КВД в координатах $P_i - t$ и $(P_i - P_0) - \ln t$ (рис.1).

Для удаленной зоны неоднородного пласта КВД (рис.1, кривые 2 и 3) представляют собой прямые линии с меньшим уклоном по отношению к кривой 1 (однородный пласт), что следует интерпретировать как изменение гидропроводности УЗП в случае неоднородного пласта. Так как свойства этой зоны по условиям задачи должны оставаться неизменными, углы наклона всех кривых должны быть одинаковыми, т.е. с момента времени $t_{\text{ОЗП}}$ они должны стать параллельными (рис.2).

При этом КВД выходит на пересечение с горизонталью, соответствующей разности $(P_{\text{пл}} - P_0)$, за более короткое время, чем в случае однородного пласта, что следует рассматривать как соответствующее уменьшение размеров зоны влияния скважины из-за ухудшения характеристик ОЗП. Соответственно, воронки депрессии для пластов 2 и 3 также должны измениться и для их построения необходимо знать фактические значения r_k .

Очевидно, что изменение размеров дренируемой скважиной области пласта должно отразиться на притоке жидкости в скважину, т.е. на ее дебите. Для оценки влияния изменения r_k на дебит построены КВД и выполнены итерационные расчеты по определению радиуса контура при различных отношениях $k/k_{\text{ОЗП}}$. Изменение дебита с увеличением этого отношения определялось по формуле

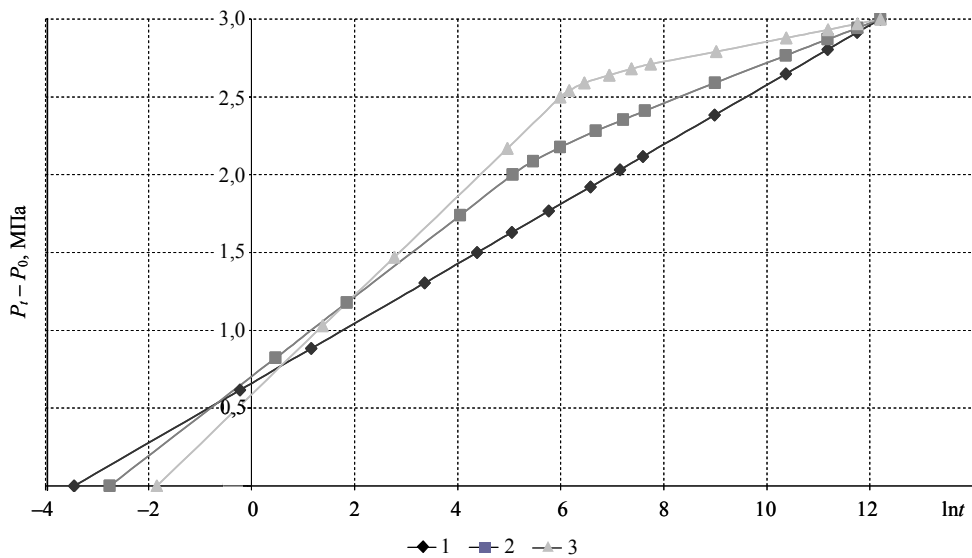


Рис. 1. КВД для однородного пласта (1) и неоднородных пластов (2 и 3) при $k/k_{\text{ОЗП}} = 2$ (2) и $k/k_{\text{ОЗП}} = 5$ (3)

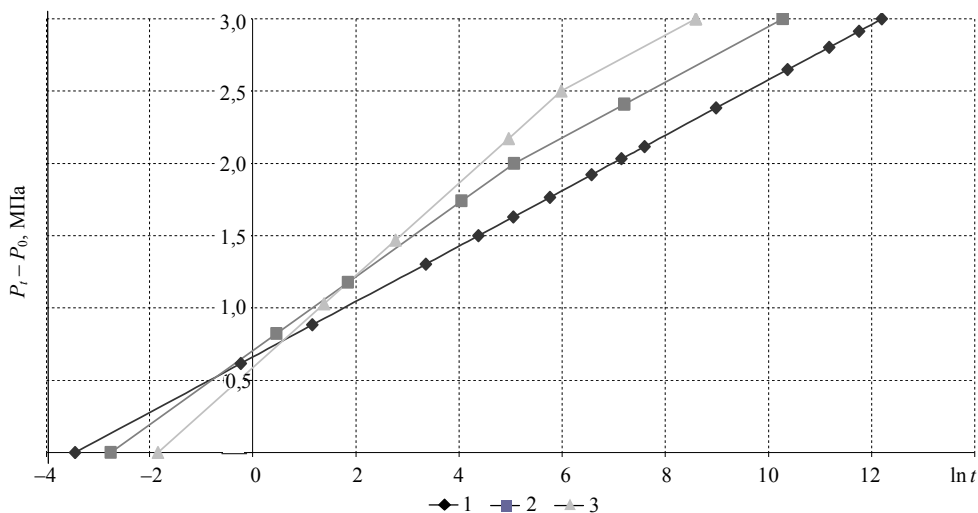


Рис. 2. КВД в координатах $(P_t - P_0) - \ln t$ (усл. обозначения см. на рис. 1)

$$\frac{q'}{q} = \frac{P'_{\text{ОЗП}} - P_0}{P_{\text{ОЗП}} - P_0}, \quad (7)$$

где q и q' – дебит скважины без учета и с учетом изменения r_k соответственно; $P_{\text{ОЗП}}$ и $P'_{\text{ОЗП}}$ – давление на границе двух зон ($r = 5$ м), полученное без учета и с учетом изменения r_k соответственно.

Результаты расчетов показали, что с увеличением $k/k_{\text{ОЗП}}$ до 2,5 происходит увеличение отношения q'/q до 1,226. Затем от-

ношение q'/q уменьшается и при $k/k_{\text{ОЗП}} = 10$ составляет 1,08. При дальнейшем увеличении $k/k_{\text{ОЗП}}$ отношение q'/q плавно уменьшается, оставаясь большим единицы.

Для тестирования описанного выше аналитического расчета была построена гидродинамическая модель, реализованная в программном продукте TEMPEST компании ROXAR. При моделировании рассматривается прямоугольная область, представленная регулярной сеткой с локальным измельче-

нием ОЗП (LGR-метод): размер ячеек крупной сетки $5 \times 5 \times 5$ м для зоны с $r > 5$ м, детальной – $1 \times 1 \times 1$ м для зоны с $r \leq 5$ м. На сторонах этой области задается условие Дирихле с $P = 18$ МПа. Модель включает две добывающие скважины, расстояние между которыми 500 м.

Допустим, что проницаемость ОЗП в радиусе 5 м от первой скважины уменьшается в 2; 5 и 10 раз по отношению к

значению этого параметра для удаленной зоны, а фильтрационные свойства ОЗП для второй скважины не изменяются. Сопоставление результатов численного решения на модели и аналитического решения показано на рис.3. Неполное совпадение зависимостей можно объяснить тем, что аналитический расчет не может учесть все особенности процессов, происходящих в пласте.

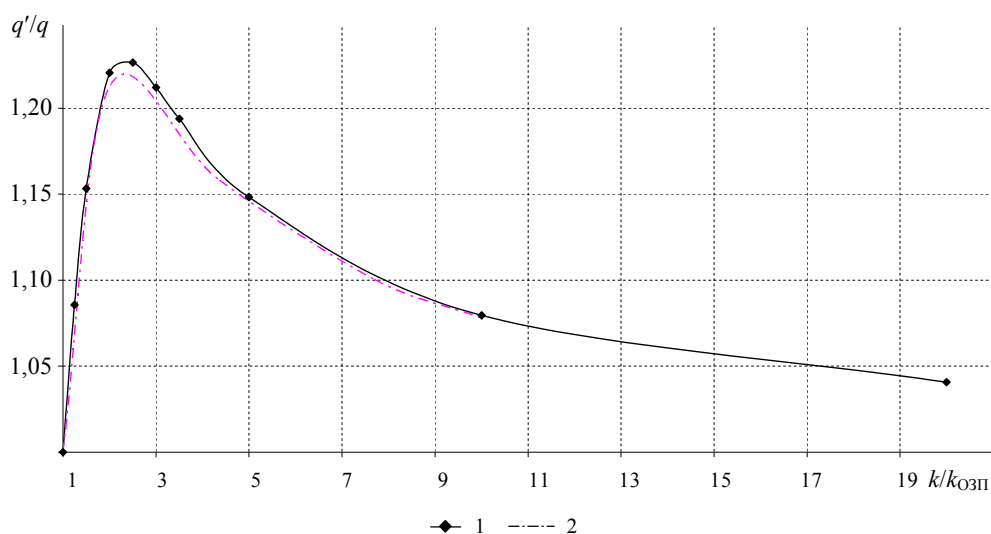


Рис.3. Зависимость отношения q'/q от $k/k_{\text{ОЗП}}$

1 и 2 – аналитическое и численное решения соответственно

Анализ изменения дебитов и характера поведения кривых указывает на правильность и состоятельность предлагаемого подхода к расчету дебита скважины с ухудшенными фильтрационными свойствами ОЗП.

Таким образом, при уменьшении проницаемости ОЗП по отношению к УЗП снижение притока жидкости в скважину с учетом изменения r_k происходит в меньшей степени, чем без учета данного фактора.

Научный руководитель проф. *В.А.Мордвинов*