

УДК 622.276.

Т.С. Акбулатов, к.т.н., профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Уфа, Россия), e-mail: fatihov8@yandex.ru; **Р.И. Фатихов**, студент IV курса, ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Уфа, Россия), e-mail: fatihov8@yandex.ru; **Р.Р. Ахяев**, студент IV курса, ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Уфа, Россия), e-mail: unixru@mail.ru

Влияние загрязнения околоскважинных зон пласта на дебит горизонтальной скважины

Строительство горизонтальных скважин является одним из путей снижения стоимости разработки месторождений нефти и газа. Хотя временные и финансовые затраты на сооружение каждой отдельной скважины при этом и возрастают, сокращается их общее количество, увеличивается дебит нефти и газа, повышается коэффициент отдачи пласта. Практически только с помощью горизонтальных скважин возможна добыча углеводородов из низкопроницаемых и карбонатных с высокой неоднородностью коллекторов, тяжелых и высоковязких нефтей, залежей с высокой степенью выработанности. При этом увеличивается потребность в более тщательном изучении явлений, протекающих в горизонтальном стволе.

При строительстве нефтяных и газовых скважин основным показателем, характеризующим качество проведенных работ, является дебит. Причем приток должен быть таким, чтобы эксплуатация этих скважин была экономически эффективной. Поэтому буровые предприятия особое внимание уделяют качественному вскрытию продуктивных пластов. Тем не менее пласт загрязняется и влечет за собой уменьшение притока при эксплуатации.

При бурении скважин загрязнение продуктивного горизонта буровым раствором, его фильтратом и твердыми частицами приводит к уменьшению проницаемости пород в несколько десятков и даже сотен раз и, как следствие, к снижению дебита скважины.

Само загрязнение происходит в результате: закупорки пор твердой фазой раствора; диспергирования глин, находящихся в пласте, при взаимодействии с фильтратом бурового раствора; образования осадков и эмульсий при взаимодействии бурового раствора и пластовых флюидов; увеличения вязкости флюида под действием полимеров, содержащихся в растворе.

Для того чтобы спрогнозировать ожидаемый дебит скважины, необходимо исследовать, насколько сильно повлияет загрязнение околоскважинной зоны пласта (ОСЗП) на дебит горизонтальных скважин. Основой исследований будут являться ранее известные зависимости для вертикальных скважин.

Достигнута цель: дан сравнительный анализ исследуемых величин для вертикальных и горизонтальных скважин. В результате работы было выявлено, что влияние загрязнения околоскважинной зоны пласта для вертикальных скважин существенно выше, чем для горизонтальных.

Ключевые слова: горизонтальная скважина, околоскважинная зона пласта (ОСЗП), загрязнение ОСЗП, уравнение Джоши, плоскорадиальная фильтрация, линейная фильтрация, формула Голосова.

.....

T.S. Akbulatov, Ufa State Petroleum Technological University Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education (Ufa, Russia), Candidate of Science (Engineering), Professor of the Department Oil and gas wells drilling, e-mail: fatihov8@yandex.ru; **R.I. Fatikhov**, Ufa State Petroleum Technological University Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education (Ufa, Russia), fourth year student, e-mail: fatihov8@yandex.ru; **R.R. Akhayevev**, Ufa State Petroleum Technological University Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education (Ufa, Russia), fourth year student, e-mail: unixru@mail.ru

Influence of the formation near-wellbore zones contamination on the horizontal well yield

Construction of horizontal wells is one of the ways to reduce cost of oil and gas fields development. Though time and financial costs to construct each separate well increase, their total number decreases, oil and gas yield increases, formation recovery factor grows.

Practically only due to the horizontal well it is possible to produce hydrocarbons from low-permeable reservoirs and carbonate reservoirs with high heterogeneity, heavy and high-viscosity oils, high degree depletion fields. However the need to phenomena in the horizontal well more thoroughly study grows.

When constructing oil and gas wells yield is the main factor that characterizes quality of works performed. Besides the inflow should be enough for these wells operation to be cost-effective. Thus drilling enterprises pay special attention to quality drilling-in. Nevertheless the formation gets contaminated and it leads to inflow decrease when operated.

When drilling wells contamination of the production horizon with drilling mud, its filtrate and solids leads to rock permeability decrease by dozens and even hundreds of times and, as a consequence, the well yield decrease.

The contamination takes place as a result of: well-bore damage with solids; formation clays dispersion when interacting with mud filtrate; sediments and emulsion accumulation when interacting with drilling mud and reservoir fluids; increase of the fluid viscosity influenced by polymers in the mud.

To forecast the expected well yield it is necessary to study how much the near-well zone contamination can influence the horizontal well yield. Basis for study is already known dependencies for straight wells.

Objective achieved: comparative analysis of the values under study for straight and horizontal wells. In the result of work it was found out that the formation near-well zone contamination for straight wells is much higher than for horizontal wells.

Keywords: horizontal well, formation near-well zone, near-well zone contamination, Josh's equation, plain radial filtration, linear filtration, Golosov's formula.

На данном этапе развития нефтяной промышленности нефтяные компании все чаще прибегают к строительству скважин с зенитными углами, близкими к 90°. Они имеют ряд преимуществ, но главное, на что они направлены, это увеличение дебита скважины. В процессе строительства скважин в область вблизи скважины проникают фильтрат и твердая фаза бурового раствора, что

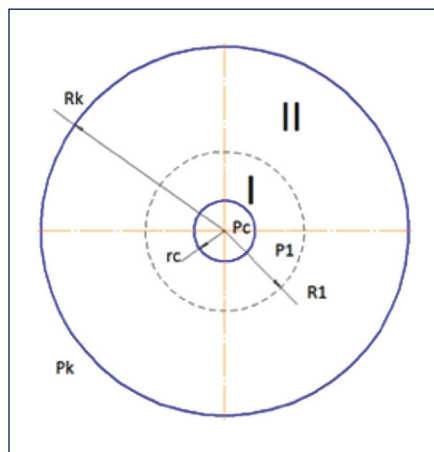


Рис. 1. Схема притока к вертикальной скважине из пласта при круговом контуре питания

Fig. 1. Flow-chart of inflow to the straight well from the formation with the circular external reservoir boundary

является одной из причин загрязнения ОСЗП.

Для определения степени влияния загрязнения на дебит вертикальной скважины используется следующая схема. Предполагается, что вокруг скважины образуется зона пониженной проницаемости [2]. Если пласт изотропный и зона пониженной проницаемости имеет цилиндрическую форму, а скважина эксплуатируется с круговым контуром питания в стационарном режиме, для зоны I и II можно использовать уравнение Дююи [1].

$$I \text{ зона: } Q = \frac{2\pi k_1 h (P_1 - P_c)}{\mu \ln \frac{R_1}{r_c}} \quad (1)$$

$$II \text{ зона: } Q = \frac{2\pi k_0 h (P_k - P_1)}{\mu \ln \frac{R_k}{R_1}} \quad (2)$$

Из формул 1 и 2 получаем:

$$Q_s = \frac{2\pi k_0 h (P_k - P_c)}{\mu (\ln \frac{R_k}{R_1} + S)} \quad (3)$$

где $S = \frac{k_0 - k_1}{k_1} \ln \frac{R_1}{r_c}$ – параметр скин-эффекта;

k_1, k_0 – соответственно проницаемость околоскважинной зоны и остальной части пласта;

R_k – радиус контура;
 R_1 – радиус зоны загрязнения;
 h – толщина пласта;
 L_k – длина контура;
 r_c – радиус скважины;
 P_1 – давление на границе зон;
 μ – вязкость;
 P_c – давление в скважине.

Теперь рассмотрим горизонтальную скважину. Течение жидкости вблизи ствола скважины близко к радиальному (рис. 2).

Для зоны I можно использовать уравнение Дююи:

$$I : Q = \frac{2\pi k_1 L_r (P_1 - P_c)}{\mu \ln \frac{R_1}{r_c}} \quad (4)$$

где L_r – длина горизонтального участка.

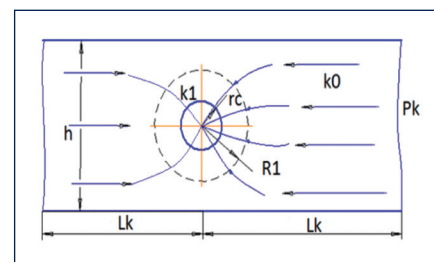


Рис. 2. Схема притока жидкости к горизонтальной скважине

Fig. 2. Flow-chart of fluid inflow to the horizontal well

Ссылка для цитирования (for references):

Акбулатов Т.С., Фатихов Р.И., Ахаев Р.Р. Влияние загрязнения околоскважинных зон пласта на дебит горизонтальной скважины // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2015. – № 4. – С. 62–64.

Akbulatov T.S., Fatikhov R.I., Akhaye R.R. Vlijanie zagryaznenija okoloskvazhinnyh zon plasta na debit gorizontal'noj skvazhini [Influence of the formation near-wellbore zones contamination on the horizontal well yield]. *Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory*, 2015, No 4. P. 62–64.

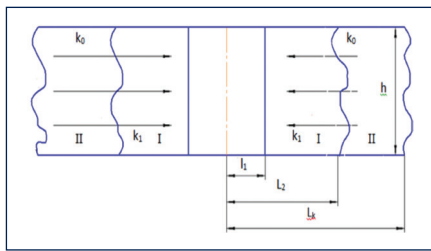


Рис. 3. Схема притока жидкости к галерее
Fig. 3. Flow-chart of fluid inflow to the gallery

Если скважина эксплуатируется с круговым контуром питания, то для зоны II согласно Джоши [4]:

$$Q = \frac{2\pi kh}{\mu B_0} \cdot \frac{(P_k - P_c)}{\left[\ln \frac{a + \sqrt{a^2 - (0,5L)^2}}{0,5L} + \frac{h}{L} \ln \frac{h}{2\pi r_c} \right]}, \quad (5)$$

где $a = 0,5L \left(0,5 + \sqrt{0,25 + \left(\frac{2R_k}{L} \right)^4} \right)^{0,5}$.

Из формул 4 и 5 получим:

$$Q_s = \frac{2\pi k_0 h}{\mu} \cdot \frac{(P_k - P_c)}{\left[\ln \frac{a + \sqrt{a^2 - (0,5L)^2}}{0,5L} + \frac{h}{L} \ln \frac{h}{2\pi r_c} + \frac{h(k_0 - k_1)}{L} \ln \frac{R_1}{r_c} \right]}. \quad (6)$$

Если для зоны II воспользоваться уравнением Борисова [3], то получим:

$$Q = \frac{2\pi kh}{\mu} \cdot \frac{(P_k - P_c)}{\left[\ln \frac{4R_k + h}{L} + \frac{h}{L} \ln \frac{h}{2\pi r_c} \right]}, \quad (7)$$

$$Q_s = \frac{2\pi k_0 h}{\mu} \cdot \frac{(P_k - P_c)}{\left[\ln \frac{4R_k + h}{L} + \frac{h}{L} \ln \frac{h}{2\pi r_c} + \frac{h(k_0 - k_1)}{L} \ln \frac{R_1}{r_c} \right]}. \quad (8)$$

Если горизонтальная скважина эксплуатируется с линейным контуром питания, можно использовать зависимость,

полученную нами из формулы П.П. Голосова [1]:

$$Q_{II} = \frac{2\pi k_0 h L_r}{\mu} \cdot \frac{(P_k - P_1)}{\left[2\pi \frac{L_k}{h} + \ln \frac{h}{2\pi R_1} \right]}, \quad (9)$$

$$Q_s = \frac{2\pi k_0 h L_r}{\mu} \cdot \frac{(P_k - P_c)}{\left[2\pi \frac{L_k}{h} + \ln \frac{h}{2\pi r_1} + \frac{k_0 - k_1}{k_1} \ln \frac{R_1}{r_c} \right]}. \quad (10)$$

Для наглядности сравнения результатов задаемся необходимыми для расчета значениями:

$k_1 = 0,1k_0$, $R_1 = 1$ м, $h = 5$ м, $L_k = 500$ м,
 $R_k = 500$ м, $r_c = 0,1$ м, $L_r = 250$ м.

По полученным расчетам можем сделать вывод, что влияние загрязнения на дебит горизонтальной скважины меньше, чем на дебит вертикальной скважины.

Для выяснения полученного, казалось бы, парадоксального результата было рассчитано влияние загрязнения на приток к галерее, вертикальный размер которой равен толщине пласта при ЛКП (рис. 3).

В данном случае имеет место одномерное течение жидкости в пласте.

$$Q_s = \frac{2\pi k_0 h L_r}{\mu} \cdot \frac{(P_k - P_c)}{\left[\frac{k_0}{k_1} (L_1 - L_1) + (L_k - L) \right]}. \quad (11)$$

Результат расчета по формуле 11 внесем в таблицу.

Из приведенных данных следует, что загрязнение мало влияет на дебит скважины, если в пласте имеет место

Таблица. Результаты расчетов
Table. Calculation results

Вид скважины Well type	Контур питания External reservoir boundary	$\frac{Q_s}{Q_{s=0}}$		
		h, [м]	h, [м]	h, [м]
		5	10	40
Вертикальная Straight	ККП Circular	0,29		
Горизонтальная Horizontal	ККП Circular	0,84	0,73	0,45
	ЛКП Linear	0,9	0,83	0,59
Галерея $h_r = h_{nn}$ Gallery $h_h = h_{u.t.}$	ЛКП Linear	0,98		

одномерная фильтрация. Влияние загрязнения существенно проявляется при радиальной фильтрации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенной работы мы установили, что влияние загрязнения околоскважинной зоны пласта на дебит горизонтальной скважины существенно меньше, чем для вертикальной скважины. Вопрос о причине столь малого влияния загрязнения остается открытым. Мы лишь можем предположить, что это, вероятно, происходит из-за того, что приток флюида в скважину имеет другой характер течения. Загрязнение сильно влияет при радиальном течении и мало – при линейном. В пластах большой толщины преобладает радиальное течение, что и приводит к более сильному уменьшению дебита.

Литература:

- Акбулатов Т.О., Хабибуллин И.А., Сакаев Р.М. Буровая подземная гидромеханика: Учебно-методическое пособие. – Уфа: УГНТУ, 2011.
- Измуханбетов В.С., Агзамов Ф.А., Акбулатов Т.О. Повреждение продуктивных пластов в процессе проводки скважины, методы предупреждения и устранения: Учебник. – Уфа: УГНТУ, 2004.
- Борисов Ю.П., Пилатовский В.П., Табаков В.П. Разработка нефтяных месторождений горизонтальными и многозабойными скважинами. – М.: Недра, 1964.
- Joshi S.D. Augmentation of well productivity with slant and horizontal well. J. of Petrol. Techn. June, 1988. P. 729–739.

References:

- Akbulatov T.O., Khabibullin I.A., Sakayev R.M. *Burovaya podzemnaya gidromekhanika* [Drilling subsurface hydromechanics]: Study guide. Ufa, Ufa State Oil Technical University, 2011.
- Izmukhanbetov V.S., Agzamov F.A., Akbulatov T.O. *Povrezhdenie produktivnykh plastov v processe provodki skvazhiny, metody preduprezhdeniya i ustraneniya* [Damaging of producing formation when drilling the well, methods of prevention and elimination]: Text book. Ufa, Ufa State Oil Technical University, 2004.
- Borisov Yu.P., Pilatovskiy V.P., Tabakov V.P. *Razrabotka neftyanykh mestorozhdenij gorizonta'nyimi i mnogozabojnymi skvazhinami* [Oil fields development using horizontal and multilateral wells]. Moscow, Nedra Publ., 1964.
- Joshi S.D. Augmentation of well productivity with slant and horizontal well. J. of Petrol. Techn. June, 1988. P. 729–739.