



УДК 628.112.2

КОЭФФИЦИЕНТ КОЛЬМАТАЦИИ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЛАСТ-СКВАЖИНА



COLMATATION COEFFICIENT AS A CHARACTERISTIC OF RESERVOIR-WELL FILTRATION PROPERTIES

Цымбалов Александр Алексеевич
кандидат технических наук,
генеральный директор,
ООО Группа компаний «Архимед»
arhimed64@mail.ru

Tsymbalov Alexander Alekseevich
Ph.D.,
General Director,
LLC Group of companies «Archimedes»
arhimed64@mail.ru

Аннотация. В статье показано влияние закольматированности осадком порового объема на фильтрационную способность системы пласт-скважина. Выделено три состояния объема пор: начальное, среднее, конечное. Приведена энергетическая оценка по удалению кольматажа.

Annotation. The article shows the effect of pore volume sedimentation on the filtration capacity of the reservoir-well system. There are three States of pore volume: initial, average, and final. The energy estimate for the removal of colmatage is given.

Ключевые слова: система пласт-скважина, коэффициент кольматации, коэффициент пористости, пористость, кольматация, кольматант, поровая среда, осадок.

Keywords: the system reservoir-well, the coefficient of clogging, porosity, porosity, mudding, plugging, pore environment, and the precipitate.

Изучению коэффициента кольматации дисперсных (поровых) сред посвящены исследования С.В. Избаша (1939), Н.К. Гириного (1957), Н.Н. Веригина (1964), В.С. Алексеева (1979), В.Н. Щелкачева и Б.Б. Лапука (2001) и многих других. Актуальность изучения влияния коэффициента кольматации на флюидопрopusную способность поровой среды не утрачена до настоящего времени и востребована отраслях российской промышленности [1].

Цель работы: показать влияние степени закольматированности осадком порового объема на фильтрационную способность системы пласт-скважина.

Рассмотрим предложенную автором в работе [2] формулу (1) коэффициента кольматации:

$$K_k = e \frac{V_T}{V_{\Pi}}, \tag{1}$$

где K_k – коэффициента кольматации системы пласт-скважина; V_{Π} – общий объем пор околоскважинной зоны, m^3 ; V_T – объем твердой минеральной части околоскважинной зоны, m^3 ; e – коэффициент пористости околоскважинной зоны.

Принимая, во внимание, что околоскважинная система состоит из твердых частиц и пор (рис. 1 а), часть которых занята водой и газообразными элементами (рис. 1 б) поэтому считаем ее как трехфазную систему.

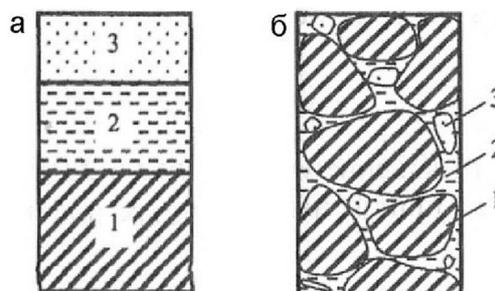


Рисунок 1 – Компоненты околоскважинной зоны системы пласт-скважина:

а – условное представление кольматанта, состоящего из твердого объема и объема пор: 1 – объем, занимаемый твердыми частицами (V_T), 2 – объем пор, занимаемый водой (V_B), 3 – объем пор, занимаемый газом (V_G);

б – разрез околоскважинной зоны: 1 – твердая частица, 2 – вода, 3 – газ

В течение жизненного цикла скважины в объеме пор наблюдается накопление осадка разной природы (механической, физико-химической, биологической, техногенной).



Накопление кольматационного осадка в поровом объеме изменяет всю структуру околоскважинной зоны как геофизического тела. Это изменение проявляется в том, что объем пор, состоящий из воды и газа, заполняется осадком кольматанта [3–5]. При полном кольматаже пор эксплуатация скважины становится не возможной из-за деградации фильтрационной способности системы пласт-скважина.

Состояние деградации системы пласт-скважина отражается в следующем виде:

$$V = V_T + V_K, \quad (2)$$

где V_T – объем твердой минеральной части околоскважинной зоны, m^3 ; V_K – объем кольматационного осадка (кольматант пор), m^3 .

Проведем преобразование выражения (1). Введем в (1) обозначение (3):

$$A = \frac{V_T}{V_{\Pi}}, \quad (3)$$

где A – численное значение отношения объема твердой минеральной части к общему объему пор в околоскважинной зоне.

Тогда (1) представим так:

$$K_K = e A, \quad (4)$$

Введенное обозначение A представляет коэффициент кольматационной активности по заполнению пор осадком (накопления осадка), который характеризует состояние околоскважинной системы, и представляет численное значение отношения объема твердой минеральной части к общему объему пор в околоскважинной зоне.

Для раскрытия физического смысла параметра A отметим, что в околоскважинной зоне $V_T = const \wedge V_{\Pi} \rightarrow mas$. Выделим три состояния объема пор: начальное, среднее, конечное.

Установим пределы значений наполняемости пор:

а) при $V_{\Pi(MIN)} = 0$ осадок отсутствует и выполняется условие:

$$V_{\Pi} = V_B + V_T; \quad (5)$$

б) при $V_{\Pi(MAS)} = 1$ осадок заполнит весь объем при условии:

$$V_{\Pi} = V_K. \quad (6)$$

Тогда справедливо выражение:

$$V_{\Pi(MIN)} \leq V_{\Pi} \leq V_{\Pi(MAS)}. \quad (7)$$

Согласно (7) начальное состояние околоскважинной системы характеризуется отсутствием осадка в объеме пор (пора заполнена водой и газом), поэтому из выполнения условия (5) $\Rightarrow V_K \leq 0$. Для среднего состояния, когда в поре начнет накапливаться осадок, $\Rightarrow 0 \leq V_K \leq 0,5$. Конечное состояние околоскважинной системы отражает полное заполнение осадком объема пор, поэтому $\Rightarrow 0,5 \leq V_K \leq 1$.

Практическую применимость приведенных выше рассуждений сделаем в виде следующих пояснений:

1. Интервал значений равный $V_K = 0,25 - 0,35$ показывает, что состояние фильтрационной способности системы пласт-скважина приближается к уровню, требующему проведение работ по регенерации поровой среды. На этом этапе кольматационный осадок представляет собой дисперсную гелеобразную массу [3], на разрушение которого потребуется минимальная энергия силового оборудования ВИГДОС-СИЦА ($\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_{MIN}$) [4].

2. При интервале $V_K = 0,35 - 0,55$ состояние фильтрационной способности системы пласт-скважина приближается к критическому значению, что требует принятие незамедлительных мер по проведению регенерации поровой среды. Данный этап потребует больших затрат на разрушение кольматационный осадок, т.к. он находится в полутвердом состоянии [3, 4], поэтому энергетические затраты составят $\mathcal{E}_2 = (5 - 50) \mathcal{E}_{MIN}$.

3. При интервале значений $V_K = 0,55 - 0,75$ фильтрационная способность системы пласт-скважина находится в критическом состоянии. Энергетические затраты этого этапа, где кольматационный осадок находится в твердом состоянии [3, 4], составляет $\mathcal{E}_3 = (50 - 100) \mathcal{E}_{MIN}$.

4. В интервале $V_K = 0,75 - 0,95$ состояние фильтрационной способности системы пласт-скважина достигает критическое значение. Кольматационный осадок в этом случае переходит в свертвердое состояние [3, 4], что соответствует следующим затратам энергии: $\mathcal{E}_4 \geq 100 \mathcal{E}_{MIN}$.



Выводы

1. Коэффициент кольматации системы пласт-скважина зависит от исходной пористости околоскважинной среды.
2. Коэффициент кольматации системы пласт-скважина равен отношению объема кольматационного осадка в порах к общему объему пор в околоскважинной зоне характеризует уровень отклонения фильтрационных свойств системы пласт-скважина в начальный и конечный период жизненного цикла скважины.
3. Заполняемость объема пор кольматационным осадком имеет четыре этапа, каждый из которых требует определенных затрат энергии на удаление кольматанта.

Работа выполнена в рамках Программы НИР ГК «Архимед» Арх. № ТЭР-R 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств: п.п. «а» – «е»; разд. 1, разд. 2» [6].

Литература

1. Цымбалов А.А. Влияние открытия кольматации водонасыщенных сред на развитие основ декольматации околоскважинных зон // Яковлевские чтения [Электронный ресурс]. – М. : Изд-во Нац. иссл. Моск. гос. строит. ун-та, 2017. – С. 210–216. – URL : <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdostupa/> (дата обращения 20.04.2020).
2. Цымбалов А.А. Определение коэффициента кольматации пор в системе пласт-скважина [Электронный ресурс] // материалы 64-й межд. науч. конф. Астрахан. гос. техн. ун-та. – Астрахань : Изд-во АГТУ, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
3. Цымбалов А.А. Формирование закольматированных зон в околоскважинной водонасыщенной среде [Электронный ресурс] // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами : сб. науч. тр. СО РАН, ИПРЭК СО РАН, ИНГГ СО РАН. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2018. – С. 198–200.
4. Цымбалов А.А. Особенности кольматационного осадкообразования в околоскважинной водонасыщенной среде [Электронный ресурс] // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами : сб. науч. тр. СО РАН, ИПРЭК СО РАН, ИНГГ СО РАН. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2020.
5. Цымбалов А.А. Контаминация околоскважинных водонасыщенных сред: терминология и применимость [Электронный ресурс] // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами : сб. науч. тр. СО РАН, ИПРЭК СО РАН, ИНГГ СО РАН. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2020.
6. Приоритетные НИР: Темы инновационных направлений научно-исследовательских работ ООО ГК «Архимед» [Электронный ресурс] / А.А. Цымбалов. – М., 2014–2020. – URL : <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnye-nir> (дата обращения 20.04.2020).

References

1. Tsymbalov A.A. Influence of the discovery of colmatation of water-saturated media on the development of the basics of decolmatation of near-well zones // Yakovlevsky readings [Electronic resource]. – M. : Publishing house of the National issl. Mosk. gos. builds. un-ta, 2017. – P. 210–216. – URL : <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdostupa/> (accessed 20.04.2020).
2. Tsymbalov A.A. Determination of the coefficient of pore colmatation in the formation-well system [Electronic resource] // materials of the 64th international conference. scientific Conf. Astrakhan state technical University. – Astrakhan : publishing house of AGTU, 2020. – 1 electron. opt. disk (CD-ROM).
3. Tsymbalov A.A. Formation of closed zones in the near-well water-saturated environment [Electronic resource] // Geological evolution of water-rock interaction: SB. nauch. Tr. SB RAS, IPEC SB RAS, ingg SB RAS. – Ulan-Ude : Publishing house of BNC SB RAS, 2018. – P. 198–200.
4. Tsymbalov A.A. Features of colmatational sedimentation in the near-well water-saturated environment [Electronic resource] // Geological evolution of interaction of water with rocks: SB. nauch. Tr. SB RAS, IPEC SB RAS, ingg SB RAS. – Ulan-Ude : Publishing house of BNC SB RAS, 2020.
5. Tsymbalov A.A. Contamination of near-well water-saturated media: terminology and applicability [Electronic resource] // Geological evolution of water-rock interaction: SB. nauch. Tr. SB RAS, IPEC SB RAS, ingg SB RAS. – Ulan-Ude : Publishing house of BNC SB RAS, 2020.
6. Priority research projects: Topics of innovative directions of research works of LLC GC «Archimedes» [Electronic resource]. – M., 2014–2020. – URL : <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnye-nir> (accessed 20.04.2020).