



УДК 622.276.66.013

БОРЬБА С ПЕСКОПРОЯВЛЕНИЕМ В НЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТАЛЛОВ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОДНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ



SAND CONTROL IN OIL WELLS USING METALS WITH NEGATIVE ELECTRODE POTENTIAL

Баспаев Ерлан Танатбергенович
Офис-менеджер,
ТОО Проектный институт «ОPTIMUM»
ybaspayev@opm.kz

Baspayev Erlan Tanatbergenovich
Office manager,
«OPTIMUM» Design Institute LLP
ybaspayev@opm.kz

Аннотация. В работе предложен способ предотвращения образования песчаных пробок в скважине применением металлов с отрицательным электродным потенциалом. Показано, что использование покрытия НКТ пленкой металлов с низкими отрицательными электродными потенциалами ниже 0.7V позволяет предотвратить образование песчаной пробки в скважине. При этом высота покрытия металлом с отрицательным электродным потенциалом внутренней поверхности насосно-компрессорных труб должна быть равна максимальной высоте песчаной пробки на месторождении. Предложен механизм наблюдаемых ответов на основе теории ДЛФО.

Annotation. A method to prevent well sanding-up using metals with a negative electrode potential is proposed in the article. It is shown that the coating film of metals with low negative electrode potentials below 0.7V applied on tubing enables to prevent well sanding-up. In this case, the height of the metal coating with a negative electrode potential of the inner surface of the tubing should be equal to the maximum height of the sand plug in the field. The mechanism of observed responses based on the DLVO theory is proposed.

Ключевые слова: скважина, песчаная пробка, электродный потенциал, теория ДЛФО.

Keywords: well, sand plug, electrode potential, DLVO theory.

Введение

Разработка месторождений, сложенных слабосцементированными терригенными породами, сопровождается интенсивным пескопроявлением. В настоящее время применяется эффективное оборудование для предотвращения пескопроявления, что позволяет значительно повысить продуктивность эксплуатации скважин. Однако, на старых месторождениях применение дорогостоящего оборудования экономически не выгодно. В связи с этим при низких скоростях водонефтяного потока в скважине происходит активное осаждение песка на забое скважины с образованием песчаной пробки, высота которой может достигать нескольких сотен метров.

В основном промывка песчаной пробки ведется технической водой при низком пластовом давлением. В этих условиях в результате сильного поглощения часть песка вместе с водой проникает в пласт, что приводит к еще большему разрушению призабойной зоны, чем до промывки. При этом после освоения скважины, песок, вновь беспрепятственно попадает в ствол и через некоторое время песчаная пробка образуется вновь.

Образование песчаной пробки происходит по следующей схеме. При выносе песка из продуктивного пласта потоком жидкости вода скапливается на забое скважины. При этом происходит налипание мелких глинистых частиц на внутреннюю и внешнюю поверхность НКТ. К глинистым частицам в свою очередь прилипают песчинки, постепенно образуя песчаную пробку.

Для предотвращения налипания глинистых частиц необходимо обработать нижнюю часть колонны НКТ. Для этой цели можно использовать реагенты, модифицирующие смачиваемость поверхности труб, что является весьма сложной задачей, тем более что нанесенная жидкость легко смывается потоком пластовых флюидов. Более простой и эффективный путь предотвращения налипания глинистых частиц – покрытие поверхности труб металлической пленкой с отрицательным стандартным потенциалом. При этом отрицательно заряженные глинистые частицы при подходе к поверхности металла с отрицательным стандартным потенциалом будут отталкиваться от него и подхваченные потоком жидкости выносятся из скважины.

Эксперимент

Для экспериментальной проверки предлагаемого способа, одинаковые по форме и площади внешней поверхности фильтры, изготовленные из различных металлов (хром – Cr, цинк – Zn, никель – Ni и железо – Fe) помещались в водный раствор бентонитовой глины (с концентрацией бентонита 3,4 %). Через 3



часа измерялась масса осевших на поверхности фильтров глинистых частиц. На рисунке 1 приведены значения относительной массы осевших глинистых частиц и стандартного электродного потенциала использованных в эксперименте металлов. При этом получено, что относительная масса глинистых частиц, осевших на поверхностях покрытых Cr или Zn (значения электродного потенциала меньше – 0,7 V) значительно меньше, чем на поверхностях покрытых Ni и Fe (значения электродного потенциала больше – 0,7 V).

Как видно из рисунка, с уменьшением стандартного электродного потенциала металла масса глинистых частиц на его поверхности уменьшается.

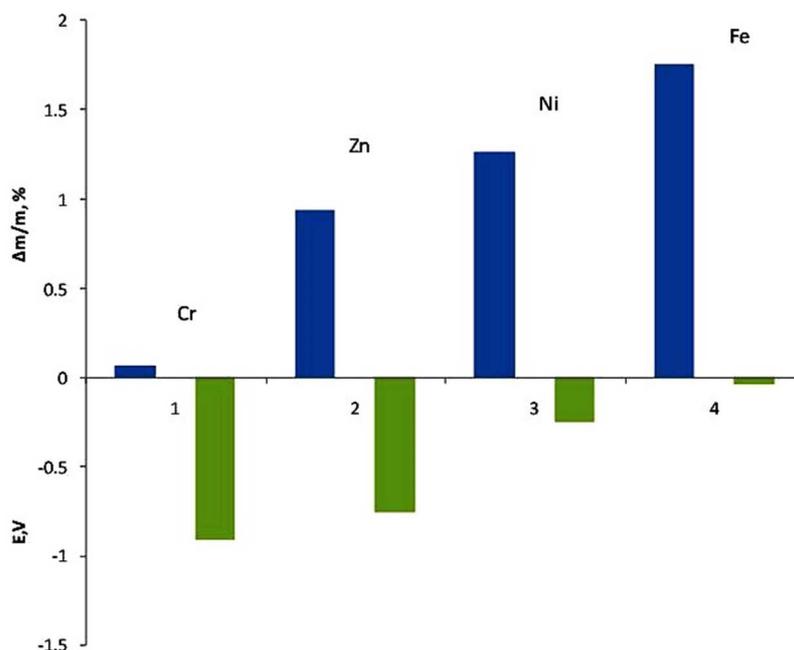


Рисунок 1 – Относительная масса глинистых частиц осевших на поверхности фильтров, покрытых пленками различных металлов: 1 – Cr; 2 – Zn; 3 – Ni; 4 – Fe и стандартный электродный потенциал металлов

Обсуждение результатов

Для объяснения полученных результатов рассмотрим силы взаимодействия между частицей песка SiO₂ и частицей металла (Cr, Zn, Ni и Fe) в водной среде. Образование агрегатов частиц согласно теории ДЛФО [1, 2] определяется балансом сил Ван-дер Ваальсового притяжения и сил отталкивания, возникающих при перекрытии двойных электрических слоев этих частиц. Ван дер Ваальсовое взаимодействие между двумя частицами в водной среде отличается от их взаимодействия в вакууме. В водной среде на частицы будет действовать расклинивающее давление. Это давление определяется по энергии смачивания (W_{CM}) жидкостью (L) поверхности двух тел A и B, расстояние между которыми h :

$$W_{CM} = \frac{A_{ALB}}{12\pi} \left(\frac{1}{h_0^2} - \frac{1}{h^2} \right), \tag{1}$$

где A_{ALB} – постоянная Гамакера взаимодействия двух веществ A и B, между которыми находится жидкость L , h_0 минимальное расстояние между телами, обычно в литературе принимается равным $h_0 = 0,165\text{nm}$ [3].

Расклинивающее давление $\Pi(h)$ определяется как производная от энергии смачивания с отрицательным знаком:

$$\Pi(h) = -\frac{dW_{CM}}{dh} = -\frac{A_{ALB}}{6\pi h^3}. \tag{2}$$

Эффективная постоянная Гамакера A_{ALB} определяется по правилу Бертольда [2]:

$$A_{ALB} = A_{AB} + A_L - A_{AL} - A_{BL} = (\sqrt{A_A} - \sqrt{A_L})(\sqrt{A_B} - \sqrt{A_L}), \tag{3}$$

где A_L – постоянная Гамакера жидкости.

Как видно из формулы (2) когда постоянная Гамакера положительна (расклинивающее давление отрицательно) слой жидкости становится тонким, т.е. тела притягиваются, а когда постоянная Гамакера



отрицательна (расклинивающее давление положительно) слой жидкости утолщается, т.е. тела отталкиваются.

Воспользовавшись таблицей 1 и формулой (3) можно заметить, что во всех рассмотренных случаях Ван дер Ваальсовое взаимодействие между металлической частицей (A: Cr, Zn, Ni, Fe) и частицей глины (B: SiO₂) в водной среде (L: H₂O, A_{H₂O} ≈ 4.5 · 10⁻²⁰ Дж) является притягательным A_{ALB} > 0, поскольку A_A > A_B > A_L.

Таблица 1

Показатель	Cr	Zn	Ni	Fe	SiO ₂
Стандартный электродный потенциал (φ), В	-0,913	-0,76	-0,25	-0,04	-0,91
Постоянная Гамакера, 10 ⁻²⁰ Дж	20–40	20–40	20–40	21	6,5

Поэтому единственная возможность для предотвращения осаждения глинистых частиц на поверхности металла обусловлена потенциальной энергией отталкивания при перекрытии двойных электрических слоев частиц. При слабом перекрытии двойных слоев частиц, отстоящих друг от друга на расстоянии *h*, потенциальная энергия отталкивания определяется как:

$$W_{от} = \frac{2\pi}{\delta} \sqrt{R_1 R_2} \epsilon_0 \epsilon \varphi_1 \varphi_2 e^{-\frac{h}{\delta}}, \tag{4}$$

где φ₁, φ₂ и R₁, R₂ – стандартные электродные потенциалы и радиусы двух частиц, соответственно; δ – Дебаевская толщина двойного электрического слоя, ε диэлектрическая проницаемость среды; ε₀ – электрическая постоянная.

Как видно из формулы (4) наибольшее значение потенциальной энергии отталкивания имеют пары частиц (Cr – SiO₂) и (Zn – SiO₂), т.е. если покрытие поверхности металлических труб Cr или Zn позволит предотвратить осаждение глинистых частиц и образование песчаной пробки. Для достижения этого результата высота покрытия металлом с отрицательным электродным потенциалом внутренней поверхности насосно-компрессорных труб должна быть равна максимальной высоте песчаной пробки на месторождении.

Литература

1. Дерягин Б.В. Теория устойчивости коллоидов и тонких пленок. – М. : Наука, 1986.
2. Israelachvili J.N. Intermolecular and surface forces. – London : Academic Press, 1991.
3. Myers D. Surfaces, interfaces, and colloids: principles and applications. Second Edition. John Wiley & Sons Inc., 1999.

References

1. Deryagin B.V. Theory of stability of colloids and thin films. – М. : Nauka, 1986.
2. Israelachvili J.N. Intermolecular and surface forces. – London : Academic Press, 1991.
3. Myers D. Surfaces, interfaces, and colloids: principles and applications. Second Edition. John Wiley & Sons Inc., 1999.