

А.Г. ГУРИН, д-р техн. наук, НТУ "ХПИ"

С.П. МОСТОВОЙ, канд. физ.-мат. наук, НТУ "ХПИ"

АЛИ ШЕЙХИ АБУБАКЕР, канд. техн. наук, ун-тет Эль-Мегреб (Ливия)

О.Н. ЯРМАК, вед. инженер НТУ "ХПИ"

Ю.Г. ГОНТАРЬ, НТУ "ХПИ"

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ВОДОНЕФТЯНОЙ СМЕСИ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН

В статті розглянуті питання формування електричного розряду у колекторі глибокої нафтової свердловини. Для збільшення вірогідності пробоя між електродами високої напруги та стінкою колектора запропоновано підвищити амплітуду імпульсу, напругу та швидкість її наростання на розрядному проміжку.

В статье рассмотрены вопросы формирования электрического разряда в коллекторе глубокой нефтяной буровой скважины. Для увеличения достоверности пробоя между электродами высокого напряжения и стенкой коллектор предложен повысить амплитуду импульса, напряжение и скорость ее нарастание на разрядном промежутке.

Постановка задачі. Очистка коллектора нефтяной скважины на глубине более 3000 м с помощью электрогидравлического эффекта зависит от удельного давления, создаваемого парогазовой областью разряда на единицу поверхности коллектора. При высоком пластовом давлении и температуре этого воздействия оказывается недостаточно, чтобы вызвать появление микротрещин в прочных породах и продуктах цементации скважин. В этом случае предпочтительно, чтобы энергия электрического разряда выделялась на первом этапе разряда при образовании лидера. Концентрация энергии в точечной зоне поверхности коллектора может вызвать её растрескивание и очистку микропор от загрязнения. Получить данный эффект можно только при создании больших напряженностей электрического поля при подаче на разрядный промежуток импульса напряжения с амплитудой 100-200 кВ и временем нарастания порядка $10 \div 20$ нс. Существенное влияние на развитие разряда при этом оказывает двухслойная структура коллектора – верхний слой нефти, нижний слой – водонефтяная смесь или минерализованная вода. Различная диэлектрическая проницаемость каждого из слоев вызывает неравномерное распределение напряженности электрического поля, а, следовательно, и различные условия их пробоя.

Распределение напряженности поля в разрядном промежутке. Если разрядный промежуток в коллекторе скважины представить как двухслойный диэлектрик, на который подано импульсное напряжение, то в соответствии с [1] напряженности поля E_1 и E_2 в любой момент времени при переменном

напряжении выражаются следующим образом:

$$E_1 = \frac{(\varepsilon_2\gamma_1 - \varepsilon_1\gamma_1)d_2\sigma_m e^{-t/\theta}}{(\varepsilon_1d_2 + \varepsilon_2d_1)(\bar{\gamma}_1d_2 + \bar{\gamma}_2d_1)} + \frac{\sigma_m e^{j\omega t}\bar{\gamma}_2}{\bar{\gamma}_1d_2 + \gamma_2d_1}, \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{(\varepsilon_1\gamma_2 - \varepsilon_2\gamma_1)d_1\sigma_m e^{-t/\theta}}{(\varepsilon_1d_2 + \varepsilon_2d_1)(\bar{\gamma}_1d_2 + \gamma_2d_1)} + \frac{\sigma_m e^{j\omega t}\bar{\gamma}_1}{\bar{\gamma}_1d_2 + \gamma_2d_1}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – диэлектрические проницаемости водонефтяной смеси и минерализованной воды в коллекторе скважины; γ_1, γ_2 – сквозная проводимость каждого из слоев; $\bar{\gamma}_1, \bar{\gamma}_2$ – комплексные выражения полных проводимостей слоев; $\bar{\gamma}_1 = \gamma_1 + j\omega\varepsilon_1$; $\bar{\gamma}_2 = \gamma_2 + j\omega\varepsilon_2$; d_1, d_2 – толщина слоев, м; σ_m – амплитуда импульса напряжения, В; ω – круговая частота, 1/с; θ – постоянная времени двухслойного диэлектрика; t – время, с.

Постоянная времени определяется толщиной слоев d_1 и d_2 и их диэлектрическими свойствами:

$$\theta = \frac{\varepsilon_1d_2 + \varepsilon_2d_1}{\gamma_1d_2 + \gamma_2d_1}. \quad (3)$$

Процесс усиления напряженности поля в первом слое возможен при θ значительно меньше длительности воздействующего импульса напряжения. Различный состав водонефтяной смеси имеет различные постоянные времени, что вызывает необходимость корректировки параметров импульса по амплитуде и скорости нарастания.

Дипольное насыщение приводит к концентрации поля и давления в приэлектродной области, что ускоряет переходной процесс. Изменение диэлектрической проницаемости происходит за время порядка 10^{-9} – 10^{-10} с. Силу, действующую на элементарный объем смеси при включении поля, можно выразить через градиент установившегося давления [2]. Возрастание сил, действующих на приэлектродные слои воды в начальной стадии переходного процесса, приведут к разному перепаду давления в приэлектродной области. При этом за волной натяжения в водонефтяной смеси может возникнуть ударная волна, обусловленная большим градиентом давления у электрода.

Электрострикционное давление появляется в разрядном промежутке вследствие зависимости диэлектрической проницаемости от плотности [3]:

$$\Delta F_{sc} = \varepsilon_0\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho} \frac{E^2}{2}, \quad (4)$$

где $\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho} = \frac{(\varepsilon - 1)(\varepsilon + 2)}{3}$ – для неполярных жидкостей; $\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho} = \varepsilon - \varepsilon_0$ – для полярных жидкостей.

Если в среде однородного диэлектрика внутренние силы, вызываемые взаимодействием электрического поля со связанными зарядами, взаимно

уравновешиваются, то на границе раздела сред с ϵ_1 и ϵ_2 возникает нормально действующая к поверхности раздела сила:

$$dF_n = \frac{1}{2}(\epsilon_1 E_{1n}^2 - \epsilon_1 E_{1t}^2 - \frac{\epsilon_2^2}{\epsilon_1} E_{1n}^2 + \epsilon_2 E_{1t}^2) dS = \frac{1}{2}(\epsilon_2 - \epsilon_1)(E_{1t}^2 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} E_{1n}^2) dS, \quad (5)$$

где E_{1n}, E_{1t} – нормальная и тангенциальная составляющая напряженности электрического поля на границе раздела сред; dS – элементарная площадка на границе раздела сред.

Таким образом, на границе раздела двух сред действует нормально к этой поверхности сила с поверхностной плотностью:

$$f = \frac{1}{2}(\epsilon_2 - \epsilon_1)(E_{1t}^2 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} E_{1n}^2) = \frac{\bar{E}_1 \cdot \bar{E}_2}{2}(\epsilon_2 - \epsilon_1). \quad (6)$$

Если поверхность раздела сред нормальна к направлению поля, то

$$f = \frac{1}{2}(\epsilon_2 - \epsilon_1) \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} E_1^2, \quad (7)$$

при параллельном расположении

$$f = \frac{1}{2}(\epsilon_2 - \epsilon_1) E_1^2. \quad (8)$$

Под действием этой силы жидкие диэлектрики будут втягиваться в область высоких напряженностей электрического поля, влияя на процесс развития электрического разряда.

Выводы:

1. Для более эффективной очистки стенок коллектора нефтяной глубокой скважины необходимо повышать амплитуду импульса напряжения с уменьшением длительности воздействия, что приведет к значительному росту гидростатического давления в приэлектродной области и снижению влияния внешнего пластового давления на разрядные процессы.

2. Обработка нефтяных глубоких скважин электрогидравлическими воздействиями требует предварительного изучения состава водонефтяной смеси и формирования воздействующего импульса напряжения необходимой амплитуды и длительности.

Список литературы: 1. *Сканави Г.И.* Физика диэлектриков (область слабых полей). – Москва: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1949. 2. *Сукачев А.П.* Теоретические основы электротехники. Ч. 1. Физические основы электротехники – Харьков: Изд-во ХГУ им. А.М. Горького, 1959. 3. *Ушаков В.Я., Клишкин В.Ф., Коробейников С.М., Лопатин В.В.* Пробой жидкостей при импульсном напряжении: Под ред. проф., д.т.н. В.Я. Ушакова. – Томск, 2005.

Поступила в редколлегию 23.11.07