

А.Г. ГУРИН, д-р. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
С.П. МОСТОВОЙ, канд. физ.-мат. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
Ю.Г. ГОНТАРЬ, аспирант, НТУ «ХПИ»;
О.Н. ЯРМАК, вед. инженер, НТУ «ХПИ»

СКВАЖИННЫЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ ВЗРЫВНОГО ТИПА

Рассмотрены вопросы формирования гидроакустического импульса в зоне коллектора глубоких нефтяных скважин при использовании в качестве излучателя электродинамического устройства, способного создавать мощную ударную волну не только за счет взаимодействия бифилярных токопроводов устройства, а и за счет взрыва токопроводов в виде металлизированных полимерных пленок при максимальной амплитуде разрядного тока конденсаторной батареи.

Розглянуто питання формування гідроакустичного імпульсу у зоні глибких нафтових скважин при використанні в якості випромінювача електродинамічного пристрою, здатного створювати потужну ударну хвилю не тільки за рахунок взаємодії бифілярних токопроводів пристрою, а і за рахунок вибуху токопроводів у вигляді металізованих полімерних плівок при максимальній амплітуді розрядного струму конденсаторної батареї.

Issues of forming sonar pulse from the reservoir zone of deep oil wells when used as a radiator of the electrodynamic device, capable to create a powerful shock wave not only due to the interaction бифилярных the conductor current device, and due to the explosion of the conductor current in the form of metalized polymer films with maximum amplitude of a discharge current of this battery.

Постановка проблемы. Эксплуатация глубоких нефтяных скважин связана с необходимостью периодической очистки перфораций в зоне коллектора, воздействия на близлежащие нефтеносные прослойки с целью улучшения притока нефти в эту зону. И если до глубины порядка 3 км используются электрогидравлические источники акустических импульсов [1], то при больших глубинах устойчивый пробой промежутков в водно-нефтяной среде можно получить при стабилизации разряда введением взрывающихся проводников или повышением разрядного напряжения. Так как повышение разрядного напряжения до 40÷50 кВ в условиях работы разрядника в обсадной трубе с внутренним диаметром до 140 мм связано с необходимостью обеспечить контактность и необходимую электрическую прочность изоляции, то предпочтение имеет первый вариант, связанный с применением взрывающихся проводников. Его преимущество заключается в возможности получить мощный акустический импульс длительностью до 10 мкс, что необходимо при группировании излучателей вдоль трубы с целью

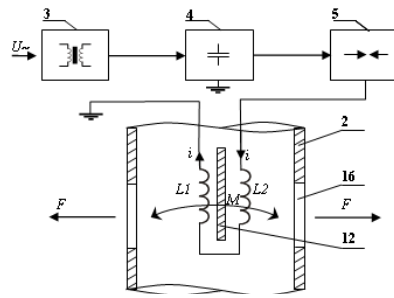
исключить влияние каждого излучателя на излучение последующих [2]. В статье рассмотрена конструкция и принцип работы электродинамического излучателя, акустический им пульс в котором создается путем взрыва бифилярно расположенных проводов в виде тонких полосок алюминиевой фольги, который происходит в момент протекания максимального значения разрядного тока.

Принцип работы излучателя и его конструкция. Принцип работы излучателя поясняет рис. 1а, а его конструкцию – рис. 1б. С помощью грузонесущего геофизического кабеля 1 в области коллектора обсадной колонны скважины размещается цилиндрический корпус излучателя 2, в котором размещается повышительно-выпрямительный блок 3, конденсаторный накопитель энергии 4 и блок коммутации 5. Акустический импульс возникает в результате разряда емкостного накопителя на полимерную пленку 8 со слоем металлизации алюминием 9 через скользящие контакты 6. Металлизированная пленка образует бифиляр, что позволяет значительно снизить индуктивность излучателя, тем самым повысить скорость нарастания разрядного тока и взрыва алюминиевой фольги. Взрывная волна создает импульс давления, который через перфорационные отверстия 16 передается окружающей среде. Перемещение и подготовка слоя металлизации к последующим взрывам происходит перематыванием пленки специальным электроприводом [3,4].

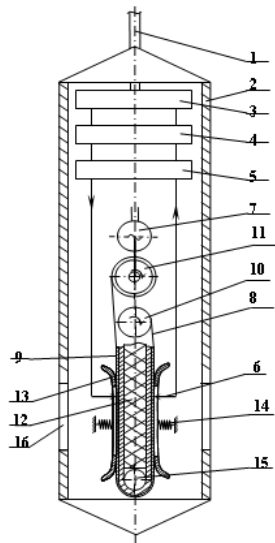
Определение параметров взрыва слоя металлизации. Взрыв слоя металлизации должен произойти в момент максимума разрядного тока конденсаторной батареи. При колебательном разряде взрыв произойдет в момент

$$t_0 = \frac{\pi}{2} (LC)^{1/2}, \quad (1)$$

где L - индуктивность разрядного контура; C - емкость конденсаторной батареи.



а)



б)

Рис.1 – Поясняющая схема излучателя: а – принципа работы, б – его конструкция: 1 - геофизический кабель; 2 – корпус излучателя; 3 - зарядное устройство; 4 – конденсаторный накопитель энергии; 5 - блок коммутации; 6 – скользящие контакты; 7 – электродвигатель; 8 - полимерная пленка; 9 - слой металлизации (фольга); 10 - подающий ролик; 11 - принимающий ролик; 12 - изоляционная пластина; 13 - прижимные пластины; 14 – пружина; 15 - направляющий ролик; 16 - перфорационные отверстия

Энергия, требуемая для получения электродинамического эффекта и полного испарения металлизации, должна быть равна

$$W_u = W_0 \cdot \eta \cdot \eta_1, \quad (2)$$

где W_0 - энергия, накопленная в конденсаторах; η - коэффициент передачи излучателю магнитной энергии в контуре; η_1 - коэффициент преобразования энергии накопителя в джоулево тепло, выделяемое в слое металлизации

$$\eta = \frac{L_u}{L_u + \sum_{i=1}^n L_i}, \quad (3)$$

где L_u - индуктивность бифилярного излучателя; $\sum_{i=1}^m L_i$ - индуктивность остальных элементов цепи.

Взрыв произойдет в момент максимума тепла разрядного тока, если джоулево тепло, выделяемое в слое за первую четверть периода, будет равно или превосходить величину, достаточную для перевода слоя металлизации до точки испарения. При этом время t_0 будет необходимым временем для полного завершения взрыва.

Если W_e - внутренняя энергия единицы массы слоя металлизации, а m - его масса, S - поперечное сечение, l - длина и ρ - удельное сопротивление, то

$$\rho \frac{l}{S} I_1^2 = m \left(\frac{dW_e}{dt} \right), \quad (4)$$

где I_1 - текущее значение разрядного тока.

Удельное сопротивление ρ изменяется в процессе взрыва, но до этого момента мало и при определении I_1 его значением можно пренебречь. Тогда

$$I_1 = (I_0)_{t_0} \cdot \sin \omega t, \quad (5)$$

где $\omega = (LC)^{-1/2}$.

Удельное сопротивление ρ зависит от температуры слоя а, следовательно, от W_e , т. е. $\rho = f(W_e)$. Поэтому можно записать:

$$m\rho^{-1}dW_e = \left(\frac{l}{S}\right)I_1^2 \sin^2 \omega t dt . \quad (6)$$

Интегрирование во времени от 0 до t_0 при подстановке $\omega t = x$ и $\frac{m}{l \cdot S} = m_0$ (плотность слоя металлизации) дает

$$\int_{W_{e0}}^{W_{e0}} c^{-1} dW_e = \frac{I_1^2}{S^2 m_0} \int_0^{\pi/2} \sin^2 x dx \text{ или} \quad (7)$$

$$I_1^2 \frac{(LC)^{1/2}}{S^2} = \frac{4m_0}{P} \int_{W_{e0}}^{W_{e0}} c^{-1} dW_e .$$

При известном зарядном напряжении конденсаторной батареи и запасенной энергии можно записать: $I_1 = (I_0)_{t_0} \sin \omega t$, где $\omega = (L_1 C_1)^{-1/2}$.

Удельное сопротивление ρ зависит от температуры, а, следовательно, и от e , так что $c = f(e)$. Поэтому можно записать:

$$m\rho_e^{-1}de = \left(\frac{l}{S}\right)(I_1)_{t_0}^2 \sin^2 \omega t dt .$$

Интегрирование во времени от 0 до t_0 при подстановке $\omega t = x$ и $\frac{m}{lS} = \gamma$ (плотность фольги) дает

$$\int_{e_0}^{e_0} \rho_e^{-1} de = \frac{(I_1)_{t_0}^2}{S^2 \gamma \omega} \int_0^{\pi/2} \sin^2 x dx \text{ или} \quad (8)$$

$$(I_1)_{t_0}^2 \frac{(L_1 C_1)^{1/2}}{S^2} = \frac{4\gamma}{\pi} \int_{e_0}^{e_0} \rho_e^{-1} de .$$

При известном зарядном напряжении конденсаторной батареи и запасенной энергии, можно записать:

$$\frac{W_0^{3/2} \eta_1}{V_0 L_1^{1/2} S^2} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \gamma \int_{e_0}^{e_0} \rho^{-1} de . \quad (9)$$

Зависимость ρ и e от температуры вводится при условии медленного адиабатического нагрева при атмосферном давлении.

Введем обозначение:

$$\alpha = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \gamma \int_{e_0}^{e_0} \rho^{-1} de . \quad (10)$$

При быстром вводе энергии вводят поправочный коэффициент $1 < k_1 < 3$, тогда

$$\frac{W_0^{3/2}}{V_0 L_1^{1/2} S^2} = k_1 \alpha . \quad (11)$$

В соответствии с законом Теплера скользящий разряд при импульсе напряжения с амплитудой 5 кВ и скоростью нарастания напряжения $dV/dt \cong 10^9$ В/с, разовьется на расстояние

$$l_{ok} = \chi C_{y0}^2 V^5 \sqrt{dV/dt} , \quad (12)$$

где χ - коэффициент, учитывающий полярность импульса (при положительном импульсе он равен $1,53 \cdot 10^{-9}$, при отрицательном - $1,29 \cdot 10^{-9}$); C_{y0} - удельная поверхностная емкость пленки, для поверхности полиэтилентерефталатной пленки можно принять величину $0,25 \cdot 10^{-8}$ Ф/м².

Расчеты показывают, что скользящий разряд за время до взрыва слоя металлизации не успеет развиваться и будет проявляться у поверхности электродов, но после перекрытия поверхности продуктами взрыва пленка будет способствовать его развитию за счет низкой электрической прочности.

Выводы. 1. Создана конструкция электродинамического источника взрывного типа, которая обеспечивает высокую амплитуду акустического импульса в обсадной колонне нефтяной скважины за счет взрыва бифилярных токопроводов.

2. Показано, что в качестве сменного носителя взрываемого слоя металла может служить полимерная пленка, которая за короткие времена взрыва металлизации не успевает изменить свои электрические и механические параметры.

Список литературы: 1. *Гурин А. Г.* Сейсморазведочный комплекс излучателей для мониторинга запасов нефти и интенсификации ее добычи из действующих скважин / *А.Г. Гурин, С.П. Мостовой, В.В. Пидашов, Н.С. Ярмак* // Вісник НТУ "ХПІ". Зб. наук. праць. Тем. випуск "Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика". - Харків: НТУ "ХПІ". - 2010. - №55. - С. 23-32. 2. Пат. 61945 Україна, МПК G 01 V 1/57 (2006/01). Свердловинне електродинамічне джерело акустичних ударних імпульсів / *Гурин А.Г., Мостовий С.П., Ярмак О.М., Гонтар Ю.Г.*; заявник та патентовласник *Гурин А.Г.* – №и 2010 14248; заявл. 29.11.2010; опубл. 10.08.2011, Бюл. №15. 3. *Заславский С.И.* Инициирование разряда нитью с полупроводящим покрытием. Разрядно-импульсные технологии / *С.И. Заславский, А.Г. Иванов.* - К.: Наукова думка, 1978. - С. 75-78. 4. *Щерба А.А.* Анализ эффективности и надежности высоковольтного электроразрядного оборудования в условиях высоких температур погружных скважинных установок / *А.А. Щерба, О.В. Хвоцан, Ю.И. Курашко, И.С. Швец* // Технічна електродинаміка. Тем. вип. "Силова електроніка та енергоефективність". - 1999. - Ч. 1. - С. 116-119.

Поступила в редколлегию 10.04.2012