

*А.Г. ГУРИН*, д-р техн. наук, проф., зав. каф. НТУ "ХПИ",  
Харьков

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

*О.Н. ЯРМАК*, вед. инженер НТУ "ХПИ", Харьков

*П.Е. КОВАЛЕК*, магистр НТУ "ХПИ", Харьков

*Ю.Г. ГОНТАРЬ*, магистр НТУ "ХПИ", Харьков

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСА ДАВЛЕНИЯ В ЗОНЕ КОЛЛЕКТОРА ОБСАДНОЙ КОЛОННЫ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЯДА**

З метою інтенсифікації видобутку нафти з глибоких свердловин розглянуто питання дії електрогідралічного розряду на нафтоносні прошарки з урахуванням спектру власних коливань обсадної колони та перфораційних отворів у зоні колектора.

С целью интенсификации добычи нефти из глубоких скважин рассмотрены вопросы воздействия электрогидравлического разряда на нефтеносные прослойки с учетом спектра собственных колебаний обсадной колонны и перфорационных отверстий в зоне коллектора.

**Введение.** Для увеличения дебита нефти из глубокой эксплуатируемой нефтяной скважины необходимо периодически не только очищать перфорационные отверстия в устье обсадной колонны, но и воздействовать ударным импульсом на затрубное пространство в зоне перфорации. Особенностью электрогидравлического воздействия является тот факт, что получаемый при этом спектр акустических колебаний парогазовой области составляет несколько килогерц и выше. Разряд происходит внутри колонны, собственная частота которой в воднонефтяной смеси составляет несколько сот герц. Определенная доля энергии разряда передается в окружающее пространство перфорационными отверстиями. Несовпадение частотных характеристик излучателя акустических колебаний с собственными колебаниями колонны, излучением перфорационных отверстий и фильтрующими свойствами среды приводит к снижению эффективности ударного воз-

действия от электрогидравлического эффекта. Оценить эффективность можно, сочетая экспериментальные методы в лабораторных условиях с теоретическими разработками в этом направлении [1, 2]. В работе рассмотрены вопросы формирования спектра колебаний в затрубном пространстве зоны коллектора и сформулированы требования к излучателям, возбуждающим ударные колебания электрогидравлическим разрядом внутри обсадной трубы в зоне коллектора.

**Цель, задачи исследования.** Основной задачей исследований является определение параметров ударного импульса, его спектрального состава, которые приближались бы к частотным характеристикам среды и обеспечивали максимальную передачу акустической энергии от электрического разряда внутри обсадной колонны к прослойкам за колонной, в микротрещинах которых находится нефть.

Схема расположения обсадной и насосно-компрессорной колонн в зоне коллектора показана на рис. 1.

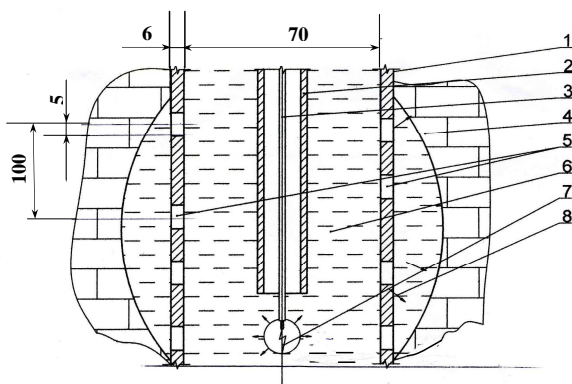


Рис. 1.

В обсадную (1) или насосно-компрессорную (2) колонну с помощью высоковольтного кабеля (3) поступает импульс напряжения, создающий при пробое водонефтяной смеси импульс давления, который передается нефтеносным пластам (4) через перфорационные отверстия (5) и водонефтяную смесь (6), окружающую обсадную колонну в зоне коллектора. Электрогидравлический удар, получаемый с помощью разрядника (7), будет, кроме того, создавать колебания самой обсадной колонны (8). Так как длительность ударного воздействия от токового шнура составляет 20–30 мкс а послеразрядовой парогазовой области высокого давления 100–200 мкс, в обсадной колонне за это время, ви-

димо, проявят себя в большей мере не продольные, а сдвиговые колебания колонны.

С другой стороны, высокое внешнее пластовое давление требует значительного повышения амплитуды ударного импульса. Это возможно за счет более быстрого ввода энергии в канал разряда, что приводит к смещению спектра акустического импульса в высокочастотную часть спектра, которая быстро затухает и не проникает вглубь пласта. Поэтому при создании погружного генератора высоковольтных импульсов необходимо выбирать параметры разрядного контура таким образом, чтобы учесть не только эффективность преобразования накопленной электрической энергии в акустический импульс в разрядной или послеразрядной стадии разряда, но и согласование их частотных характеристик с характеристиками колебательной системы зоны коллектора.

**Определение собственных частот обсадной колонны в зоне коллектора.** Принимая, что послеразрядная парогазовая область высокого давления в замкнутом объеме может существовать 0,1–0,2 мс [3] и в зоне электрического разряда в обсадной колонне могут формироваться преимущественно изгибные колебания, в качестве исследуемого образца был взят отрезок трубы диаметром 152 мм, длиной 600 мм и толщиной стенки 6 мм. Используя полуэмпирическую приближенную формулу для вычисления собственных частот изгибных колебаний круговой цилиндрической оболочки с опертым концом с одной стороны [4], показанную на рис. 1, можно записать

$$f_{\tau} = \frac{1}{2\pi R^2} \left[ (\mu_1^2 + m_1^2)^2 + \frac{\mu_1^4 \chi_0^4}{(\mu_1^2 + m_2^2)^2} \right]^{1/2} \left( \frac{D}{\rho h} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус трубы, м;  $h$  – толщина трубы, м;  $\mu_1 = (1 + \alpha)^{\pi R/l}$ ;  $\alpha = 0,42$  при  $2 \leq l/R \leq 10$ ;  $l$  – длина трубы, м;  $m_1, m_2$  – параметры, равные числу полуволн формы колебаний в продольном направлении и окружном направлении:  $m_1 \sim 1$ ,  $m_2 \sim \left(\frac{R}{l}\right)^{1/2} \left(\frac{R}{h}\right)^{1/4}$ ;  $\chi = k_0 R$ ;

$k_0 = \left(\frac{Eh}{DR^2}\right)^{1/4}$ ;  $E$  – модуль упругости материала трубы;  $D$  – цилинд-

рическая жесткость,  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ ;  $\nu$  – коэффициент, учитывающий

совместное действие крутильных и продольных форм колебаний,  $v \sim 0,09$ ;  $\rho$  - плотность материала трубы,  $\text{кг/м}^3$ .

Подстановка геометрических параметров отрезка трубы и физико-механических параметров ее материала дают значение частоты изгибных колебаний порядка 150÷200 Гц.

Экспериментальная проверка полученного результата проводилась на стенде, состоящем из электродинамического источника ударных импульсов, акустической ванны и пьезокерамического датчика, позволяющего регистрировать сигнал на осциллографе С1-13. Отрезок трубы устанавливался на излучатель в виде плоской катушки индуктивности с медной мембраной. Ударный импульс от мембраны передавался торцу трубы через демпфирующую прокладку, позволяющую устранить высокочастотные колебания тонкой медной мембраны. Датчик устанавливался непосредственно на внешней излучающей поверхности трубы. Параметры генератора импульса тока выбирались таким образом, чтобы длительность ударного импульса была в 3-4 раза меньше периода собственных колебаний отрезка трубы.

Параметры нормированных по амплитуде импульса силы (1), собственных колебаний трубы на воздухе (2) и в воде (3) приведены на рис. 2. Спектральный состав этих импульсов и их энергетический спектр приведены на рис. 3 и рис. 4.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что большая часть энергии сосредоточена в низкочастотной части, а спектр излучаемых колебаний внешней поверхности трубы на воздухе и в воде отличается незначительно, в основном в высокочастотной области.

**Передача энергии звуковой волны нефтеносным слоям в зоне коллектора.** Энергия звуковой волны, полученная при электрическом разряде в обсадной колонне, передается в окружающую среду путем излучения самой колонной, а также через перфорационные отверстия. Излучение колонны в зоне коллектора можно рассматривать как излучение цилиндра в водонефтяной смеси с интенсивностью [5]:

$$I_{\text{ц}} = \frac{A^2}{\pi \omega \rho r} \cos^2 \varphi, \quad (2)$$

где  $A \cong \pi \omega^2 r_0^2 b \rho_c / 2a$ ;  $r_0$  - радиус цилиндра, м;  $b$  - амплитуда колебаний, м;  $a$  - скорость звука в среде, м/с;  $\rho$  - плотность среды,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\omega$  - круговая частота излучаемого звука, 1/с.

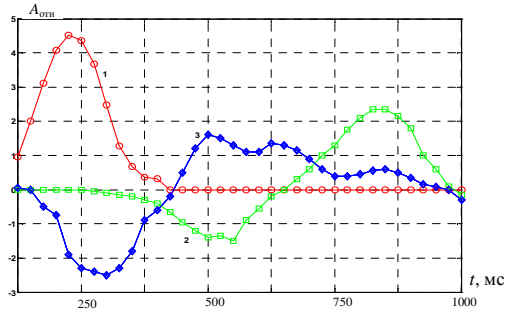


Рис. 2.

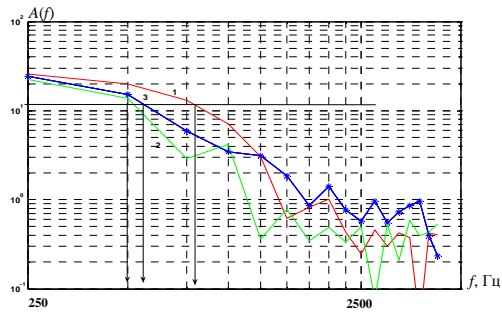


Рис. 3.

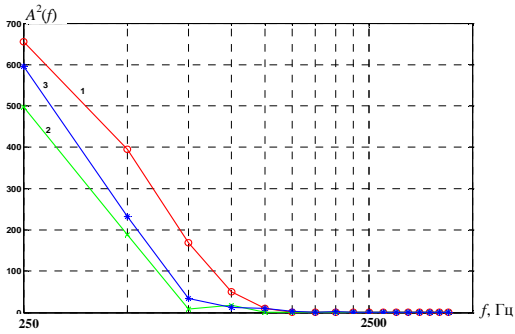


Рис. 4.

Излучение перфорационного отверстия в колонне на некотором удалении от отверстия:

$$I_{\text{отв}} = \frac{4\pi^4 q^2 a \rho r_0^2}{r^2 \lambda^2} \left[ \frac{2I_1\left(2\pi \frac{r_0}{\lambda} \sin \theta\right)}{2\pi \frac{r_0}{\lambda} \sin \theta} \right]^2, \quad (3)$$

где  $q$  - равномерно распределенное по площади отверстия звуковое давление; функция  $\frac{2I_1(x)}{x}$  - близка к 1 при  $x \leq 1,5$  (когда

$$x = 2 \frac{x}{\pi} \frac{r_0}{\lambda} \leq 1,5 \text{ при } r_0 < \lambda / 4).$$

С некоторым приближением можно считать, что интенсивность излучения одного отверстия, расположенного в плоскости, перпендикулярной к оси разряда, составляет

$$I_{\text{отв}} = \frac{4\pi^4 q^2 a \rho}{\lambda^2}, \quad (4)$$

где  $\lambda$  - длина излучаемой звуковой волны, м.

Сравнение интенсивности излучения одиночного отверстия по сравнению с интенсивностью излучения колонны показывает, что эта величина на два порядка ниже

$$\frac{I_{\text{отв}}}{I_k} = \frac{24q^2 a^2}{\omega^2 r^3 b^2}, \quad (5)$$

но в совокупности энергия, передаваемая перфорационными отверстиями всей зоны коллектора, зависит от спектра излучаемого сигнала и в низкочастотном диапазоне спектра излучаемого сигнала может быть сравнима с количеством звуковой энергии, передаваемой колонной.

### **Выводы.**

1. Учитывая, что расположенная в зоне коллектора обсадная колонна передает в окружающую среду низкочастотную часть энергии электрогидравлического удара, целесообразно стремиться к получению максимума энергии взрыва не на первой стадии его формирования, а на второй при образовании более длительной парогазовой фазы образования звуковых волн.

2. Так как спектральная плотность энергии в низкочастотном диапазоне перфорационных отверстий сравнима с энергией, излучаемой колонной, их можно рассматривать как отдельные поршневые излучатели с диаграммой направленности, зависящей от размеров от-

верстия и интенсивности разряда.

**Список источников информации:** 1. *Гулый Г.А., Малюшевский П.П.* Высоковольтный электрический разряд в силовых импульсных системах / Под ред. к.т.н. Г.А. Гулого.- К: Наукова думка, 1977. 2. *Рябов В.П., Муха А.Г., Горюченко Г.Г., Малюшевский П.П.* Особенности электрогидравлического эффекта при высоком давлении // Разрядно-импульсная технология.- К., 1978.- С. 35-42. 3. *Герштанский О.С.* Опыт применения акустического воздействия на призабойную зону проницаемых пород на месторождениях Западного Казахстана // НТВ "Каротажник".- Тверь.- 1998.- Вып. 48. 4. *Вибрации в технике: Справочник в 6-ти т. / Ред. совет: В.Н. Чоломей (предс.).- М.: Машиностроение, 1978.- Т.1. Колебания линейных систем / Под ред. В.В. Болотина, 1978.- 352 с.* 5. *Кошляков Н.С. и др.* Уравнения в частных производных математической физики: Учебное пособие.- М.: "Высшая школа", 1970.

*Поступила в редколлегию 12.06.2009*