

УДК 628.112

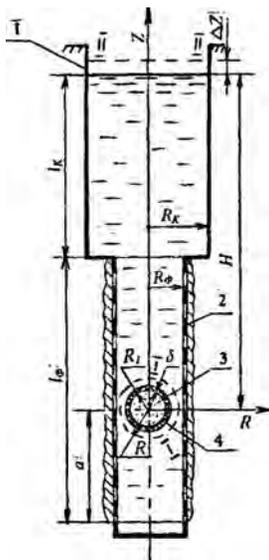
Динамика пульсаций шаровой полости с продуктами газового взрыва в водозаборной скважине

Ивашечкин В. В., Верменюк В. В., Чернобылец А. Н.
Белорусский национальный технический университет

Подводный газовый взрыв нашел свое применение при восстановлении снизивших дебит скважин [1].

Целью настоящей работы является теоретический расчет пульсаций сферической взрывной камеры с эластичной оболочкой в скважине.

Расчетная схема пульсаций представлена на рис. 1.



Пусть в фильтре скважины имеется сферическая взрывная камера с энергоносителем с наружным радиусом R_1 , имеющая тонкостенную упругую оболочку толщиной δ менее $0,1R_1$. Пусть в энергоносителе произошло быстрое химическое превращение – взрыв.

Камера практически мгновенно оказывается заполненной продуктами взрыва с одинаковым и равным по всему объему давлением $p_1 = m p_0$, где m – степень возрастания

давления, p_0 – гидростатическое давление. Камера радиально расширяется. Жидкость можно считать несжимаемой [2].

Согласно первому закону термодинамики, начальная энергия продуктов взрыва \mathcal{E}_1 расходуется на увеличение их внутренней

энергии $W_{(R-\delta)}$, на работу A над окружающей жидкостью и на работу $A_{об}$ растяжения тонкостенной упругой оболочки:

$$A + A_{об} + W_{(R-\delta)} = \mathcal{E}_1. \quad (1)$$

Окончательно уравнение имеет вид:

$$\int_{4\pi R_1^2}^{4\pi(R-\delta)^2} p_l dV + 4\pi E \delta (R - R_1)^2 + \frac{4\pi p_0 \pi (R_1 - \delta)^m}{3(n-1)} (R - \delta)^{3(n-1)} = \frac{4\pi p_0 \pi (R_1 - \delta)^2}{3(n-1)}, \quad (2)$$

где p_l – давление на оболочку со стороны жидкости в скважине в процессе движения.

Давление p_l найдем из уравнения Д. Бернулли на случай неустановившегося движения, записанного для сечения I – I, совпадающего с наружной поверхностью сферической оболочки и сечения II – II, проходящего по уровню воды в скважине (рис. 1). Плоскость сравнения проводим через центр шара.

Используем следующие допущения: стенки скважины абсолютно жесткие и непроницаемые; давление продуктов взрыва по всему объему полости одинаково.

С учетом сил инерции и сил трения выражение для давления p_l на оболочку со стороны жидкости во время пульсации имеет вид

$$p_l = \rho g \left[H + \frac{p_{взм}}{\rho g} + \frac{4}{3} \frac{R^3 - R_1^3}{R_1^2} + \frac{\alpha}{g} \left(\frac{8R^4}{R_1^4} - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{2R^4 \left[1 - \left(\frac{R_\phi^2 - R^2}{R_\phi^2} \right)^2 \right]}{g\mu^2 (R_\phi^2 - R^2)^2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{4}{g} \left(\frac{l_\phi - a}{R_\phi^2} + \frac{l_\phi}{R_1^2} \right) \frac{d \left(R^2 \frac{dR}{dt} \right)}{dt} + \frac{4}{g} \left[\lambda_\phi \frac{l_\phi - a}{R_\phi^2} + \lambda_\phi \frac{l_\phi}{R_1^2} + \frac{2}{R_1^4} \left(\frac{R_1^2}{R_\phi^2} - 1 \right)^2 \right] \cdot R^4 \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где λ - коэффициент гидравлического трения; μ - коэффициент расхода кольцевого отверстия между взрывной камерой и стенкой фильтра.

Для нахождения решения уравнения (2) использовались численные методы (а именно, метод Рунге-Кутты-Мерсона). В результате составлена программа расчета, которая позволяет получить зависимости $R(t)$, $v(t)$, $p(t)$ и значения импульса давления

$$I = \int_0^t p(t) dt \text{ при различных параметрах скважины и взрывной}$$

камеры. Вследствие потерь энергии, пульсации скорости и давления продуктов взрыва имеют затухающий характер.

Обработка результатов вычислений позволила предложить формулу для расчета импульса давления I для стадии расширения продуктов взрыва (при $m = 10$ и $E = 8$ МПа), которая имеет вид:

$$I = mp_0 \cdot k_n \cdot k_\phi \cdot \left(\frac{R_1}{R_\phi} \right)^{0,7} \frac{(l_\phi - a)^{0,015} \cdot (l_\phi + l_K - a)^{0,08} \cdot (1 + \delta)^{20}}{R_K^{0,79}} \quad (4)$$

где $k_n = 1,57 - 0,51 \cdot n + 0,032 \cdot n^2$ – коэффициент, учитывающий влияние коэффициента политропы n , $k_\phi = 0,00164 - 0,006 \cdot R_\phi + 0,43 \cdot R_\phi^2 - 0,86 \cdot R_\phi^3$. Значения переменных следует задавать в метрах. Ограничения на использование формулы следующие: $R_\phi \in [0,08; 0,25]$, $0,35R_\phi \leq R_1 \leq 0,55R_\phi$, $R_\phi \leq R_K \leq 2R_\phi$, $l_K \in [20; 100]$, $(l_\phi - a) \in [2; 18]$, $\delta \in [0,001; 0,005]$, $n \in [1,17; 1,81]$. Анализ формулы (4) показывает, что импульс давления I имеет практически линейный рост при возрастании длины фильтра и колонны (поскольку от них линейно зависит глубина H и, соответственно, давление p_0 , а множители $(l_\phi - a)^{0,015}$ и $(l_\phi + l_K - a)^{0,08}$ вносят несущественный вклад), уменьшается с увеличением R_K и n , но увеличивается с ростом δ .

Литература

1. Ивашечкин, В. В. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин/В. В. Ивашечкин; под ред. А. Д. Гуриновича. – Мн.: БНТУ, 2005. – 270 с.
2. Наугольных, К. А. Электрические разряды в воде /К. А. Наугольных, Н. А. Рой. – М.: Наука, 1971. – 155 с.