

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ «ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА»

А.С.Шагинян, О.Н.Шабловский, В.И.Глазунов

Гомельский политехнический институт им П. О. Сухого, Беларусь

Дальнейшее увеличение точности и глубинности сейсмических исследований при использовании газодинамических источников геофизики связывают прежде всего с наличием в установках конструктивных возможностей изменения спектральных характеристик излучаемой мощности и повышением их энергетической и сейсмической эффективности, [1,2,3].

Разработана квазиодномерная, динамическая модель импульсного источника сейсмических сигналов типа СИ-40, созданного в НПО «Сейсмотехника», г.Гомель. В данной модели описывается не только нестационарность рабочих процессов, но и неоднородность газодинамических параметров вдоль продольной оси взрывной камеры. Исследовалась модель камеры по схеме, показанной на рис. 1, для которой принято од

номерное движение газа вдоль вертикальной оси между подвижными границами $x=x_1(t)$, $x=x_2(t)$, представляющими уравнения движения гильзы и поршня. После подрыва горючей смеси «пропан-кислород» и интенсивного процесса детонационного горения в рабочей камере достигается высокое давление $p=p^0$. Момент времени, в который достигается это давление форсирования, принимается за начальный, $t=0$, и рассматривается движение элементов источника до момента $t=t_k$, когда гильза, передав импульс геологической среде, начнет возвратное движение вверх.

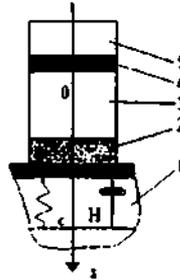


Рис. 1 Квазиодномерная модель источника сейсмических сигналов СИ-40

- 1-модель геологической среды;
- 2-гильза;
- 3-взрывная камера;
- 4-поршень;
- 5-демпферная полость.

В основу предлагаемой физико-механической модели положены уравнения газовой динамики, записанные в квазиодномерном приближении и содержащие источник-вые члены [4]:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = \rho \frac{db}{dt}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (p + \rho u^2) = \rho \tilde{F}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(\varepsilon + \frac{u^2}{2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho u \left(\varepsilon + \frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2} \right) \right] = \rho \frac{d\tilde{q}}{dt} + \rho \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial t}, \quad (3)$$

$$p(V - \alpha) = RT, \quad \varepsilon = \frac{p(V - \alpha)}{(\gamma - 1)}, \quad V = \frac{1}{\rho}. \quad (4)$$

где t - время, x - продольная (декартова) координата, p - давление газа, ρ - плотность, V - удельный объем, u - скорость, T - температура, ε - удельная внутренняя энергия, R - газовая постоянная, α - коволюм,

$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ отношение удельных теплоемкостей газа. Поясним смысл источник-вые членов, стоящих в правых частях уравнений (1-3). Функция $\rho \frac{db}{dt}$ есть скорость отвода массы газа в данной точке рассматриваемого объема; \tilde{F} - скорость отвода импульса, приходящаяся на единицу массы газа, т.е. массовая сила, действующая на час-

вые членов, стоящих в правых частях уравнений (1-3). Функция $\rho \frac{db}{dt}$ есть скорость отвода массы газа в данной точке рассматриваемого объема; \tilde{F} - скорость отвода импульса, приходящаяся на единицу массы газа, т.е. массовая сила, действующая на час-

тицу газа; $\frac{d\bar{q}}{dt}$ - скорость отвода энергии, которая приходится на единицу массы п
за; $\frac{d\bar{\varepsilon}}{dt}$ - скорость «чистого» подвода энергии, не связанного с полем массовых сил
производимой ими работой.

Граничные условия на гильзе возьмем в виде:

$$\frac{dx_{\Gamma}}{dt} = u_{\Gamma}, \quad t \geq 0, \quad x = x_{\Gamma}(t), \quad T = T_{\Gamma}(t),$$

$$(m_c + m_{\Gamma}) \frac{du_{\Gamma}}{dt} = p_{\Gamma} S_{\Gamma} - p_{\mathcal{D}} S_{\mathcal{D}} - H u_{\Gamma} - c(x_{\Gamma} - x_{\Gamma}^0) + (m_c + m_{\Gamma}) g$$

Соотношение (5) означает равенство скоростей гильзы и частиц газа, примы
кающих к ней. Условие (6) есть уравнение движения гильзы массой m_{Γ} с учетом при
соединенной массы m_c геологической среды. Моделью геологической среды служит
колебательное звено в виде упругодемпфирующей подвески (рис.1); H, c - коэффициенты
затухания и жесткости грунта. Температура газов на гильзе считается известной; в ча
стности, допущение $T_{\Gamma} = const$, как показывают расчеты, является хорошим приближе
нием. Граничные условия на поршне:

$$\frac{dx_{\Pi}}{dt} = u_{\Pi}, \quad m_{\Pi} \frac{du_{\Pi}}{dt} = - p_{\Pi} S_{\Pi} + p_{\mathcal{D}} S_{\mathcal{D}} + m_{\Pi} g, \quad t \geq 0$$

Здесь индексы «п», «г», «д» относятся, соответственно, к поршню, гильзе и дем
фирующей полости; g - ускорение силы тяжести; S - площадь; x_i^0 - начальная координ
гильзы. Начальные условия: $t=0$,

$p = p^0, u = 0, \rho = \rho^0$ означают, что в исходном состоянии система покоится. Вели
чина p^0 задается на основе давления p_H , отвечающего нормальной детонации. Для да
вления газа в демпферной полости ограничиваемся изэнтропическим соотношением
для средних по объему величин.

Данная физико-механическая модель реализована численно с помощью метода
интегральных соотношений [5]. Интегрирование аппроксимирующей системы уравнений
проводилось методом Рунге-Кутты пятого порядка.

Здесь приводятся результаты расчетов динамических параметров сейсмоисточ
ника СИ-40 для следующего варианта:

$$m = 280 \text{ кг}; \quad m_{\Pi} = 630 \text{ кг}; \quad c = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Н/м}; \quad H = 3,7 \cdot 10^5 \text{ Нс/м};$$

$$V_{p.k.} = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3; \quad m_{\Gamma} = 0,2 \text{ кг}; \quad S_{\Gamma} = 0,255 \text{ м}^2; \quad S_{\Pi} = 0,255 \text{ м}^2; \quad S_{\mathcal{D}} = 0,08 \text{ м}^2.$$

Величины масштабов равны: $x' = u t'$, $p' = \rho' u^2$, $\varepsilon' = u^2$, $m' = \rho' x' S'$, $x' = 10$
 $t' = 10^{-2} \text{ с}; \quad S' = 0,255 \text{ м}^2; \quad \rho' = 18 \text{ кг/м}^3; \quad m' = 46 \text{ кг}$. Расчеты проводились в безразмерных
ременных.

На рис.2 показано, как меняется на гильзе с течением времени плотность газа
(линия 1), температура (линия 2) и давление (линия 3).

Наибольшая разность между давлением и плотностью газа на гильзе и поршне
наблюдается вначале процесса. На рис.3 линии 1,2,3,4 соответственно показана зависи
мость от времени скорости поршня, скорости гильзы, перемещения поршня и гильзы.
Следует отметить существенно немонотонный характер изменения скорости гильзы,

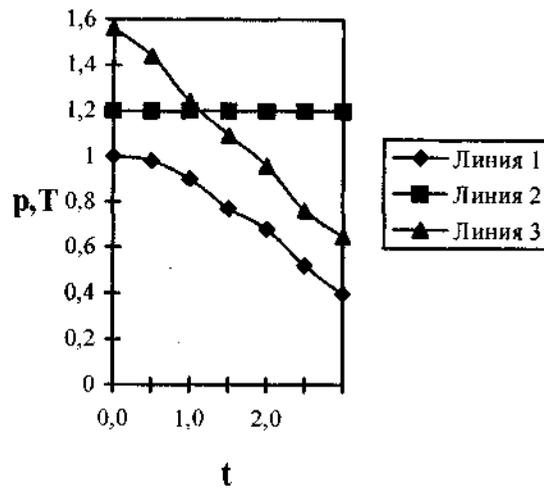


Рис.2

обусловленный ее взаимодействием с геологической средой. Коэффициент полезного действия источника при $t \in [0, 2]$ близок к постоянному значению 0,31.

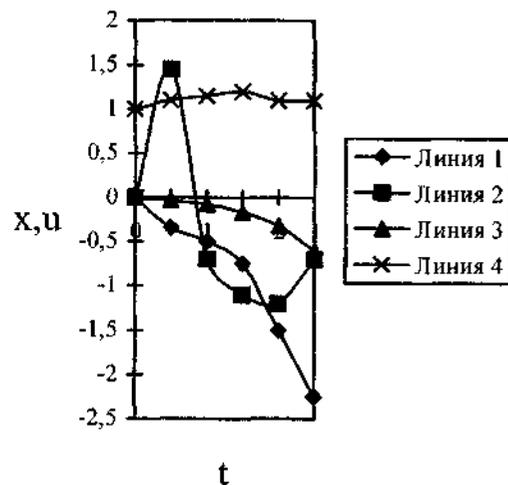


Рис.3

Предложенная модель позволяет значительно повысить уровень инженерных расчетов источников данного типа. В отличие от ранее применявшейся термодинамической модели [1] представленный здесь газодинамический подход дает возможность решать задачу повышения коэффициента полезного действия не только подбором оптимальных значений масс поршня и гильзы, площади опорной части плиты, жесткости пружинно и путем изменения конструктивных размеров источника для организации высокоинтенсивного детонационного горения.

Литература

- Шагинян А.С. Исследование динамических характеристик поверхностных источников сейсмических сигналов. В кн.: Труды 24-го международного геофизического симпозиума. Краков, 1979, с.84-106
- Шагинян А.С. Теория и расчет газодинамических импульсных источников сейсмических сигналов. Вестник прикладной геологии, №9, Изд. Академии наук ГДР, Берлин, 1980, с.438-443.

3. Шагинян А.С. О выборе оптимальных параметров газодинамических импульсных источников сейсмических сигналов// Исследование Земли невзрывными сейсмическими источниками. М., Наука, 1981, с.176-184.

4. Комаровский Л.В., Шабловский О.Н. Аналитическое исследование некоторых внутренних задач нестационарной газовой динамики и переноса тепла. Томск: Изд-во ун-та, 1981, с.208.

5. Дородницын А.А. Об одном методе решения уравнений ламинарного пограничного слоя// Журнал ПМТФ.1960, №3, с.111-118.