

С.А. Горинов, Ю.Д. Норов, А.Б. Тухташев

СХЕМА РАБОТЫ АКТИВНОЙ ЗАБОЙКИ

Проведены исследования по сравнению времени вылета цельной (пассивной) забойки с временем вылета активной забойки из скважины.

Ключевые слова: активная забойка, пассивная забойка, детонационный процесс, сопротивление движению забойки.

Анализ данных о влиянии забойки на эффективности действия заряда ВВ [1–10] показывает, что большинство исследователей приходят к выводу, что наличие забойки увеличивает время действия взрывных газов на массив горных пород. Последнее способствует передаче разрушаемой среде большей доли энергии, выделенной при взрыве заряда ВВ, что способствует повышению качества дробления.

При расчете времени вылета забойки из скважины, как при инженерных расчетах (В.И. Терентьев, О.И. Алексеев; И.Б. Карасик; В.П. Асонов, П.А. Демчук, Д.С. Кузнецов и др. – библиогр. в [1]), так и при аналитических [2, 3, 4, 6] принимается модель задачи внутренней баллистики – выброс тела (забойки) из абсолютно жесткого цилиндра под действием взрывных газов.

При этом в инженерных расчетах полагалось, что под действием осредненного взрывного давления забойка движется равноускоренно [1, 7]. Силы сопротивления движению забойки учитывались следующим образом:

- Карасик И.Б. учитывает только инерцию забойки;
- Терентьев В.И., Алексеев О.И. учитывают инерцию забойки и силу трения от бокового распора;

- Друкованный М.Ф. и др. – инерцию и силы трения от бокового распора с привлечением экспериментальной зависимости распределения давления в забойке по ее длине;

- Асонов В.А., Демчук П.А., Кузнецов Д.С. отмечают, что в реально используемых для забойки материалах силы трения от бокового распора намного больше сопротивления сдвигу. Поэтому в качестве сил сопротивления движению забойки предлагают учитывать ее инерцию и сопротивление на сдвиг.

При аналитических расчетах времени вылета забойки из скважины силы сопротивления (кроме инерции) или не учитываются [2, 3, 6], или учитываются путем введения в уравнения движения забойки дополнительной массы, инерционности которой эквивалентна суммарному действию сил трения и бокового распора [4, стр. 120].

Однако, в указанных исследованиях учитывалось, что давление в продуктах взрыва изменяется в процессе вылета забойки из скважины.

Постановка задачи:

Сравнить время вылета цельной (пассивной) забойки (рис. 1) с временем вылета активной (рис. 2) забойки из скважины.

Модель скважины – жесткий цилиндр диаметром d . Среда характеризуется пределом прочности на сдвиг $\tau_{ср}$.

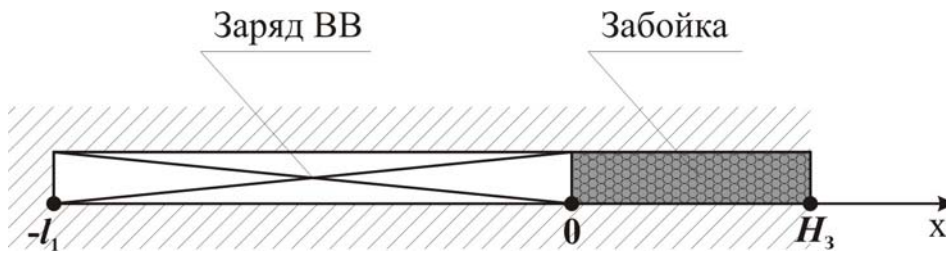


Рис. 1. Схема расположения заряда ВВ и пассивной забойки в скважине: l_1 – длина основного заряда ВВ; H_3 – длина пассивной забойки

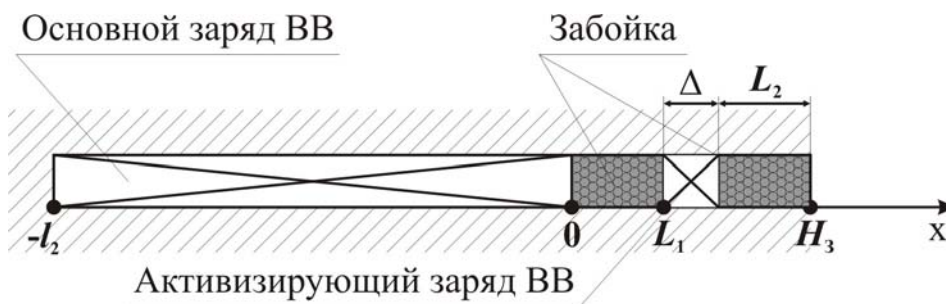


Рис. 2. Схема расположения заряда ВВ и активной забойки в скважине: Δ – длина активизирующего заряда; L_1 – длина первого (от основного заряда) участка забойки; L_2 – длина второго (от основного заряда) участка забойки.

Характеристики основного заряда ВВ:

- плотность $\rho_{ВВ}$; длина l_1 ;
 - скорость детонации D ;
 - коэффициент политропы K_1 ;
- Тогда, согласно [6], среднее детонационное начальное давление (в рамках модели мгновенной детонации) равно

$$P_{01} = \frac{\rho_{ВВ} D^2}{2(K_1 + 1)}. \quad (1)$$

Характеристики активизирующего заряда ВВ:

- длина Δ ;
- среднее начальное детонационное давление P_{02} ;
- коэффициент политропы K_2 ;
- плотность ρ_2 ;

Материалом забойки считаем несжимаемым.

Забойка характеризуется:

плотностью ρ_* ; углом внутреннего трения φ ; пределом прочности на сдвиг $\tau_{заб}$, а также длиной (см. рис. 1, 2).

Забойка взаимодействует со стенками скважины посредством сил трения. Коэффициент трения забойки о стенки скважины обозначим через f .

Модель детонационного процесса:

мгновенная детонация с установлением среднего начального детонационного давления, которое в дальнейшем изменяется по политропическому закону [6]:

$$PV^K = \text{const}, \quad (2)$$

где P , V – текущие давление и объем взрывных газов; K – показатель политропы.

Выбор критерия сопротивления движению забойки

а. Сила трения от бокового распора:

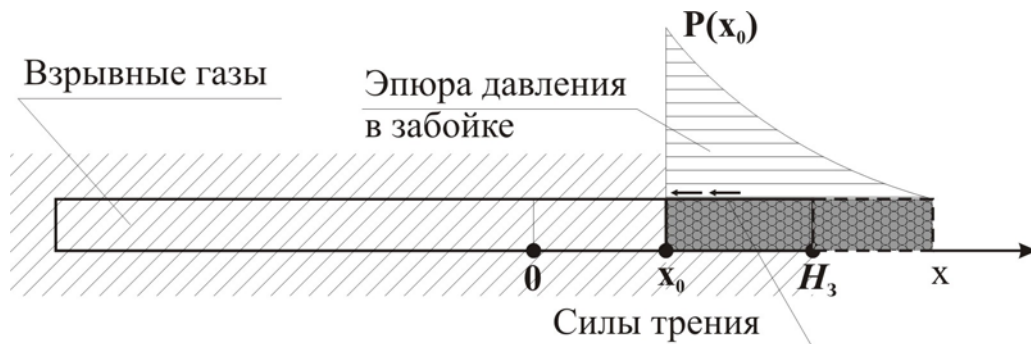


Рис. 3. Схема смещения пассивной забойки в скважине

Рассмотрим момент времени, когда пассивная забойка сместилась на расстояние x_0 (см. рис. 3).

В виду несжимаемости забойки распределение давления в ней задается зависимостью

$$P(x) = P(x_0) \left(1 + \frac{x_0}{H_3} - \frac{x}{H_3} \right). \quad (3)$$

Тогда суммарная сила трения забойки о стенки скважины равна

$$F_{\text{тр}} = \pi f K_p P(x_0) d \frac{H_3^2 - x_0^2}{2H_3}, \quad (4)$$

где $K_p = tg^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$ – коэффициент бокового распора для сыпучих сред [11].

В соответствии с (2)

$$P(x_0) = P_{01} \left(\frac{l_1}{l_1 + x_0} \right)^{K_1}. \quad (5)$$

б. Сила сопротивления при сдвиге: Обозначим через

$$\tau_* = \min \{ \tau_{\text{ср}}; \tau_{\text{заб}} \}. \quad (6)$$

Тогда суммарная сила сопротивления сдвигу при положении забойки, указанному на рис. 3, равна

$$F_{\text{сдв}} = \pi d (H_3 - x_0) \tau_* K_d, \quad (7)$$

где K_d – коэффициент динамичности.

Сравним величины (4) и (7).

С учетом (5) имеем

$$F_{\text{тр}} = \pi d f t g^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) P_{01} \left(\frac{l_1}{l_1 + x_0} \right)^{K_1} \times \frac{H_3^2 - x_0^2}{2H_3} \stackrel{>}{<} \pi d (H_3 - x_0) \tau_* K_d = F_{\text{сдв}} \quad (8)$$

Исходя из (8), получаем

$$P_{01} f t g^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{l_1}{l_1 + x_0} \right)^{K_1} \left(1 + \frac{x_0}{H_3} \right) \stackrel{>}{<} 2 \tau_* K_d. \quad (9)$$

Так как $K \approx 3$ [6], а $\frac{H_3}{l_1} \approx 0,4-0,5$

[8], то минимальное значение левой стороны сравнения (9) равно

$$2 f t g^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{H_3}{l_1}} \right)^{K_1} P_{01}. \quad (10)$$

Осуществим выбор критерия сопротивления движению забойки.

принимая:

$P_{01} \approx 3 \cdot 10^9$ Па [13]; $f = 0,3$; $\varphi \approx 40^\circ$ [9];

$\frac{H_3}{l_1} \approx 0,5$ [8]; $K_1 \approx 3$ [6]; $K_d = 2$ [1];

$$\tau_* \approx 2 \cdot 10^7 \text{ Па [12].}$$

Получаем

$$P_{01} f g^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{l_1}{l_1 + x_0} \right)^{K_1} \cong 5,8 \cdot 10^7 \text{ Па.}$$

$$\tau_* K_d = 4 \cdot 10^7 \text{ Па.}$$

Таким образом, силы трения при боковом распоре забойки, как правило, превосходят силы динамического сдвига (если материал забойки представлен сыпучей средой из горных пород).

На основании оценочных расчетов в качестве критерия сопротивления движению забойки выбираем условие сдвига (6)

Определения времени вылета пассивной забойки

Обозначим через x , координату левого конца забойки (см. рис. 1). Тогда, в рамках принятой модели описания процесса, уравнение движения забойки запишется в виде

$$P_{01} \left(\frac{l_1}{l_1 + x_0} \right)^{K_1} S - \pi d \tau_* (H_3 - x) = \quad (11)$$

$$= \rho_* S H_3 \frac{d^2 x}{dt^2}$$

где $S = \frac{\pi d^2}{4}$ — площадь сечения скважины.

Можно показать, что при $\frac{x}{l_1} \leq \frac{H_3}{l_1} \approx 0,5$ и $K_1 = 2,5-2,7$ имеет место равенство

$$\left(\frac{l_1}{l_1 + x} \right)^{K_1} \approx 1 - \frac{\beta_1 K_1}{l_1} x, \quad (12)$$

где $\beta_1 \approx 0,5$.

На основании (11), (12) получаем

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{1}{\rho_* H_3} \left(\frac{P_{01} \beta_1 K_1}{l_1} - \frac{4 \tau_*}{d_{\text{СКВ}}} \right) x = \frac{P_{01}}{\rho_* H_3} - \frac{4 \tau_*}{\rho_* d_{\text{СКВ}}} \quad (13)$$

Начальные условия:

$$x = 0; \dot{x} = 0, \quad (14)$$

при $t = 0$.

Рассмотрим решение (13) при начальных условиях (14) при различных значениях характерных параметров задачи.

$$1. \frac{P_{01} \beta_1 K_1}{l_1} > \frac{4 \tau_*}{d_{\text{СКВ}}} \quad (15)$$

Тогда уравнение движения забойки задается уравнением

$$x = \frac{1 - \frac{4 \tau_* H_3}{P_{01} d}}{\frac{\beta_1 K_1}{l_1} - \frac{4 \tau_*}{P_{01} d}} \times \quad (16)$$

$$\times \left\{ 1 - \cos \sqrt{\frac{\beta_1 K_1 P_{01} - 4 \tau_*}{l_1 d} t} \right\}$$

Последнее уравнение записано с учетом (1). ■■■

Коротко об авторах

Горин С.А. — кандидат технических наук, ИГД УрО РАН,
Норов Ю.Д. — профессор, доктор технических наук, ОАО ГМК «Мурунтау»,
Тухташев А.Б. — горный инженер, Новоийский горный институт.