

УДК 622.235.361

С.А. Горинов, Ю.Д. Норов, А.Б. Тухташев
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АКТИВНОЙ
ЗАБОЙКИ

Проведен анализ времени вылета пассивной и активной забоек, определен момент инициирования активизирующего заряда.

Ключевые слова: забойка, детонация, взрыв активизирующего заряда.

Согласно Ф.А. Бауму и др. [2, 3] время вылета забойки при отсутствии сопротивления движению равно

$$t_{*}^{(Баум)} = \frac{K+1}{K} \frac{H_3}{D} \left[1 + \sqrt{\frac{6\rho_* H_3}{\rho_{ВВ} l_1}} \right]. \quad (1)$$

При $\frac{H_3}{l_1} \approx 0,5$; $K = 2,5$; $\frac{\rho_*}{\rho_{ВВ}} = 1,8$ и $\tau_* = 0$ на основании (1) имеем:

$$t_* = 5,32 \frac{H_3}{D}; \quad t_{*}^{(Баум)} = 4,65 \frac{H_3}{D}; \quad (2)$$

$$\frac{t_*}{t_{*}^{(Баум)}} = 1,14.$$

Таким образом, при характерных значениях $\frac{H_3}{l_1}$ и K_1 , решения, полученные в рамках модели мгновенной детонации, незначительно отличаются от точных решений Ф.А. Баума (при t_*).

Так как перед нами поставлена задача сравнить времена вылета пассивной и активной забоек, т. е. $\frac{t_{*}^{Актив}}{t_{*}^{Пассив}}$ и $t_{*}^{Пассив}$, величина $\frac{t_{*}^{Актив}}{t_{*}^{Пассив}}$ будет определена с точностью до нескольких процентов.

$$2. \frac{P_{01} \beta_1 K_1}{l_1} = \frac{4\tau_*}{d_{СКВ}}.$$

$$\text{Тогда } x = \frac{1}{2} \left(\frac{P_{01}}{\rho_* H_3} - \frac{4\tau_*}{\rho_* d} \right) t^2.$$

Время вылета забойки

$$t_* = \frac{2H_3}{D} \sqrt{\frac{\rho_*(K_1+1)}{\rho_{\text{ВВ}} \left(1 - \frac{4\tau_* H_3}{P_{01} d}\right)}}. \quad (3)$$

$$3. \frac{4\tau_* H_3}{d} < P_{01} < \frac{4}{\beta_1 K_1} \frac{\tau_* l_1}{d}.$$

Уравнение движения забойки

$$x = H_3 \frac{1 - \frac{4\tau_* H_3}{P_{01} d}}{\frac{4\tau_* H_3}{P_{01} d} - \frac{\beta_1 K_1 l_1}{H_3}} \left\{ \frac{1}{2} \left[\exp \left(\sqrt{\frac{4\tau_* - \beta_1 K_1 P_{01}}{d l_1} t} \right) + \exp \left(-\sqrt{\frac{4\tau_* - \beta_1 K_1 P_{01}}{d l_1} t} \right) \right] \right\}$$

Время вылета забойки

$$t_* = \frac{H_3}{D} \sqrt{\frac{2\rho_*(K_1+1)}{\rho_{\text{ВВ}} \left(\frac{4\tau_* H_3}{P_{01} d} - \frac{\beta_1 K_1 H_3}{l_1}\right)}} \ln \left(\frac{1 - \frac{\beta_1 K_1 H_3}{l_1}}{1 - \frac{4\tau_* H_3}{P_{01} l_1}} + \sqrt{\left(\frac{1 - \frac{\beta_1 K_1 H_3}{l_1}}{1 - \frac{4\tau_* H_3}{P_{01} l_1}} \right)^2 - 1} \right). \quad (4)$$

$$4. P_{01} \leq \frac{4\tau_* H_3}{d} - \text{забойка не вылетает из скважины.}$$

На рис. 1 схематично изображена зависимость времени вылета забойки (пассивной) от $\frac{\tau_*}{P_{01}}$

Наибольший практический интерес представляет создание условий увеличения времени вылета забойки на участке арккосинуса (см. рис. 1), так как на участке выше точки 0.

$$t_* > \frac{2H_3}{D} \sqrt{\frac{\rho_*(K_1+1)}{\rho_{\text{ВВ}} \left(1 - \frac{\beta_1 K_1 H_3}{l_1}\right)}}. \quad (5)$$

При характерных значениях $\frac{\rho_*}{\rho_{\text{ВВ}}}$, K_1 и $\frac{H_3}{l_1}$ на основании (5) для логарифмического участка имеем $t_* > \frac{7H_3}{D}$. Данное время сравнимо со временем

прорыва газов при взрывании скважинных зарядов на карьерах $t_{\text{газ}} \approx \frac{W}{C_{\text{тр}}}$ [3],

где W – л. н. с., C_p – скорость продольных волн в массиве, $C_{\text{тр}}$ – скорость роста трещин разрыва ($C_{\text{тр}} \approx 0,2C_p$). Т. е. забойка на логарифмическом участке (рис. 1), как правило, достаточно прочна, что обеспечивать запираание скважины до прорыва газов в атмосферу сквозь разрушенные горные породы.

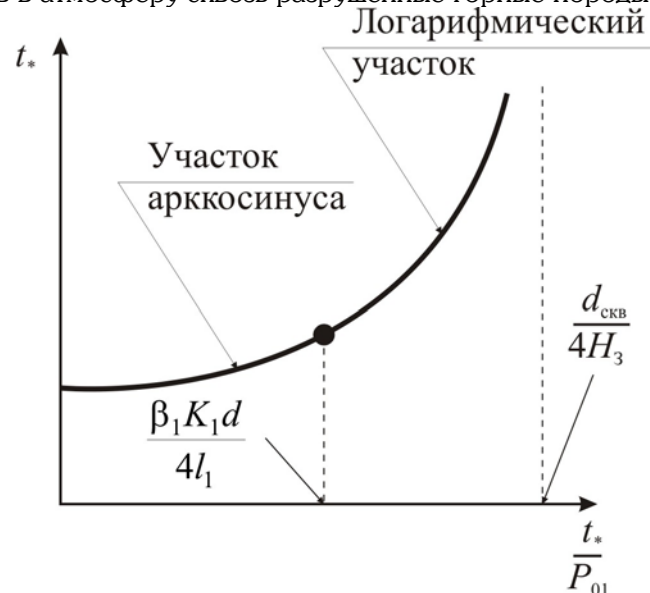


Рис. 1. Зависимость времени вылета забойки (пассивной) от $\frac{\tau_*}{P_{01}}$: точка 0 соответствует случаю 2 (равноускоренное движение)

Определение времени вылета активной забойки

При определении времени вылета активной забойки воспользуемся экспериментальными данными С.П. Левчика, Ю.А. Масаева [4].

В одном из своих опытов они изучали скорость вылета водяной забойки с газовым пузырьком. В ходе исследований было установлено, что участок забойки между ВВ и пузырьком после взрыва начинал ускоренно двигаться, затем по метра схлопывания пузырька замедлял свое движение вплоть до остановки, позднее, вся забойка приходила в движение и выбрасывалась, как единое целое.

В соответствии с вышеуказанным, расчет времени вылета активной забойки распадается на два этапа. Первый – определение времени схлопывания газового пузыря, образующегося при взрыве активизирующего заряда (движется первый участок забойки). Второй – определение времени выброса всей забойки, как единого целого.

В рамках модели процесса положим, что детонация основного заряда происходит в момент завершения роста каверны от взрыва активизирующего заряда. В реальных условиях, вследствие конечной скорости распространения

среде сигнала в данный момент времени соответствует взрыву активизирующего заряда в момент окончания процесса детонации в основном заряде (нижнее инициирование).

Под действием взрывных газов, образующихся при взрыве активизирующего заряда, линейный размер полости Δ возрастает до величины $\delta = K_* \Delta$. На основании экспериментальных данных [5] и двух политропного приближения расширения взрывных газов, можно показать, что при $\tau_* \approx 50 - 150$ кг/см² $K_* \approx 6 - 10$.

Будем рассматривать случай, представляющий наибольший практический интерес:

$$\frac{P_{01} \beta_1 K_1}{l_1} > \frac{4\tau_*}{d}.$$

Уравнение движения первого участка забойки (процесс схлопывания газовой полости, образовавшейся при взрыве активизирующего заряда):

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{1}{\rho_* L_1} \left(\frac{P_{01} \beta_1 K_1}{l_1} - \frac{4\tau_*}{d_{\text{СКВ}}} \right) x = \frac{P_{01}}{\rho_* L_1} - \frac{4\tau_*}{\rho_* d_{\text{СКВ}}}. \quad (6)$$

Начальные условия: $x(0) = 0$, $\dot{x}(0) = 0$.

Противодавление взрывных газов в полости активизирующего заряда скаывается только при $x \rightarrow \delta$.

Из (6) определяем время схлопывания газовой полости

$$t_1 = \zeta \frac{L_1}{D} \sqrt{\frac{2\rho_*(K_1+1)}{\rho_{\text{ВВ}} \left(\frac{\beta_1 K_1 L_1}{l_1} - \frac{4\tau_* L_1}{P_{01} d} \right)}} \arccos \left(1 - \frac{\delta \left(\frac{\beta_1 K_1}{l_1} - \frac{4\tau_*}{P_{01} d} \right)}{\frac{1}{L_1} - \frac{4\tau_*}{P_{01} d}} \right), \quad (7)$$

где $\zeta \approx 1,2$ – коэффициент, учитывающий противодавление газов в схлопываемой полости.

Время вылета забойки, как единого целого найдется из решения уравнения

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\frac{P_{01} \beta_1 K_1}{l_1} - \frac{4\tau_*}{d_{\text{СКВ}}}}{\rho_* H_3 \left(1 - \frac{\Delta}{H_3} \right)} x = \frac{P_{01}}{\rho_* H_3 \left(1 - \frac{\Delta}{H_3} \right)} \left[1 - \frac{\beta_1 K_1 \delta}{l_1} - \frac{4\tau_* H_3}{P_{01} d} \left(1 - \frac{\delta}{H_3} \right) \right]. \quad (8)$$

Начальные условия: $x(0) = 0$, $\dot{x}(0) = 0$ – начало координат смещаем в точку $x_0 = \delta$.

Разрешая (8), определяем время вылета забойки, как единого целого:

$$t_2 = \frac{L_1}{D} \sqrt{\frac{2(K_1 + 1) \left(1 - \frac{\Delta}{H_3}\right) \rho_*}{\rho_{\text{BB}} \left(\frac{\beta_1 K_1 H_3}{l_1} - \frac{4\tau_* H_3}{P_{01} d}\right)}} \arccos \left(\frac{1 - \frac{\beta_1 K_1 H_3}{l_1}}{1 - \frac{4\tau_* H_3}{P_{01} l_1} - \delta \left(\frac{\beta_1 K_1}{l_1} - \frac{4\tau_*}{P_{01} d}\right)} \right). \quad (9)$$

Окончательно определяем время вылета активной забойки:

$$t_*^{\text{актив}} = t_1 + t_2.$$

Оценка эффективности активной забойки

Эффективность активной забойки будем оценивать отношением времени вылета активной забойки со времени вылета пассивной забойки.

На основании (7), (9) и (10) находим:

$$\frac{t_*^{\text{актив}}}{t_*^{\text{пассив}}} = \frac{\zeta \sqrt{\frac{L_1}{H_3}} \arccos \left(1 - \frac{\delta}{H_3} \frac{l_1}{1 - \frac{4\tau_*}{P_{01} d}} \right) + 1 \sqrt{1 - \frac{\Delta}{H_3}} \arccos \left(\frac{1 - \frac{\beta_1 K_1 H_3}{l_1}}{A} \right)}{\arccos \left\{ \frac{1 - \frac{\beta_1 K_1 H_3}{l_1}}{1 - \frac{4\tau_* H_3}{P_{01} d}} \right\}}, \quad (11)$$

$$\text{где } A = 1 - \frac{4\tau_* H_3}{P_{01} d} - \delta \left(\frac{\beta_1 K_1}{l_1} - \frac{4\tau_*}{P_{01} d} \right).$$

Произведем оценочные расчеты при следующих значениях параметров:

$\zeta = 1,2$; $L_1 = 2$ м; $H_3 = 2$ м; $l_1 = 12$ м; $\Delta = 0,1$ м (5 кг аммонит №6ЖВ при $d=0,25$ м); $K_* = 8$; $\beta_1 = 0,5$; $K_1 = 2,7$; $\tau_* = 10^7$ Па (100 атм);

$P_{01} = 3 \cdot 10^9$ Па (30000 атм).

$$\frac{t_*^{\text{актив}}}{t_*^{\text{пассив}}} = \frac{1,2 \sqrt{\frac{2}{5}} \arccos \left(1 - \frac{8 \cdot 0,1}{H_3} \frac{12}{\frac{1}{2} - \frac{4 \cdot 100}{30000 \cdot 0,25}} \right) + \sqrt{1 - \frac{0,1}{5}} \arccos \left(\frac{1 - \frac{0,5 \cdot 2,7 \cdot 5}{12}}{A} \right)}{\arccos \left\{ \frac{1 - \frac{0,5 \cdot 2,7 \cdot 5}{12}}{1 - \frac{4 \cdot 100}{30000 \cdot 0,25}} \right\}}$$

$$A = 1 - \frac{4 \cdot 100}{30000} \cdot \frac{5}{0,25} - 8 \cdot 0,1 \left(\frac{0,5 \cdot 2,7}{12} - \frac{4 \cdot 100}{30000 \cdot 0,25} \right) = 0,686.$$

$$= \frac{0,3524 + 0,87}{0,9311} = 1,31.$$

Таким образом, активная забойка позволяет значительно увеличить продолжительность времени вылета забойки по сравнению с пассивной забойкой.

Обсуждение результатов

1. Качественная картина явления изображена на рис. 2–5.

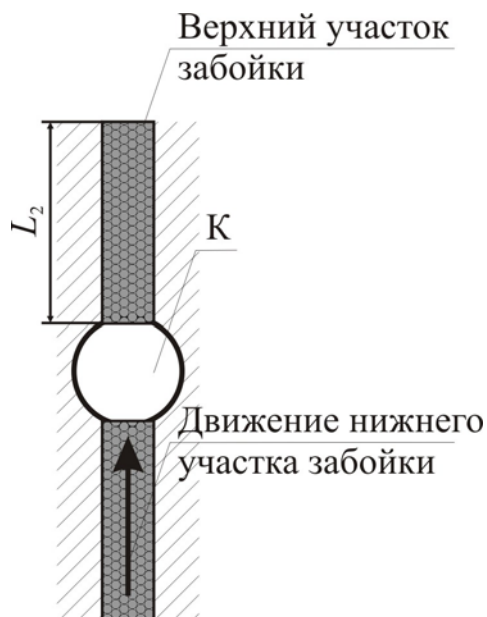


Рис. 2. К – каверна, образованная при взрыве активизирующего заряда

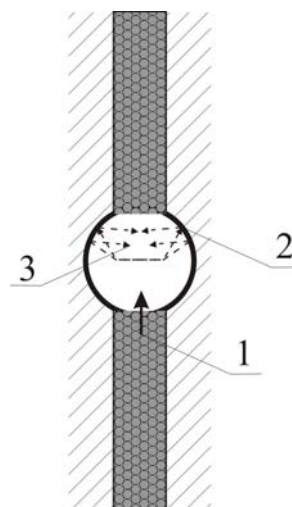


Рис. 3. Эффекты: 1 – падение средней линейной скорости движения вследствие увеличенного сечения; 2 – упругое отражение ударяющихся частиц забойки; 3 – эффект самозапирания

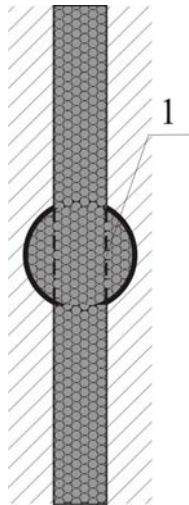


Рис. 4. 1 – образование поверхности сдвига в среде, запомнившей каверну К

Выводы

- представления, что противоимпульс активизирующего заряда сдерживает движение нижнего участка забойки несостоятельны, т. к. он очень мал по сравнению с импульса основного заряда;
- взрыв активизирующего заряда создает в среде каверну, что обуславливает возникновение эффекта запираения для нижнего (движущегося) участка забойки;
- увеличение длины нижнего участка забойки L_1 способствует увеличению времени вылета забойки из скважины (формула (27));
- размер L_2 верхнего участка забойки должен обеспечивать камуфлет при взрыве активизирующего заряда;
- в качестве ВВ для активизирующего заряда должно использоваться ВВ с достаточно высокими бризантными свойствами;
- момент инициирования активизирующего заряда должен выбираться из условия: момент начала втекания забойки из нижнего участка соответствует моменту окончания развития каверны.

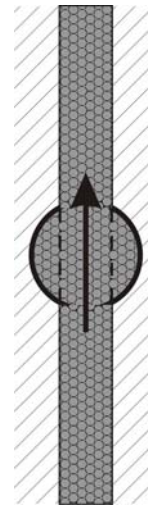


Рис 5. Выброс забойки, как единого целого

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баум В.А., Григорян С.С., Санасарян Н.С. Определение импульса взрыва вдоль образующей скважины и оптимальных размеров скважинного заряда. – Взрывное дело, Недр, 1964, №54/11, с. 53–102.
2. Баум Ф.А., Санасарян Н.С. Импульсы взрыва, обусловленные боковым распором забойки в скважине. М., Недр, Взрывное дело, №59/16, с. 28–32.
3. Друкованный М.Ф. Методы управления взрывом на карьерах. – М.: Недр, 1973. – 414 с.
4. Левчик С.П. Масаев Ю.А. Влияние водяной забойки на разрушение горных пород взрывом. – М., Недр, Взрывное дело, №72/29, 1973, с. 124–130.

5. *Михалюк А.В., Белинский И.В.* Напряженно-деформированное состояние породных массивов при внутренних взрывах. – Взрывное дело, №76/33, Недра, 1976, с. 15–24.

ИИАС

Коротко об авторах

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

