

УДК 622.24

КАРАКОЗОВ А.А., УГНИВЕНКО В.В. (ДонГТУ)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН НА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

В настоящее время в Донбассе начинается широкомасштабная добыча природного газа из скважин, пробуренных на угольных месторождениях. При этом глубина многих скважин (при конечном диаметре 295–243 мм) не превышает 500 м, поэтому для их бурения используются самоходные буровые установки геологоразведочного сортамента, предназначенные для бурения скважин на воду (например, в ЗАО «Югостокгаз» применяется УБВ-600). Особенности технологии бурения и мощность привода подобных установок позволяют создавать статическую осевую нагрузку на забой в пределах 100 кН, что при бурении шарошечными долотами соответствует полной нагрузке на забой, равной примерно 200 кН. Однако практика бурения нефтяных и газовых скважин показывает, что наиболее эффективно процесс бурения протекает при нагрузке на забой, близкой к значению допустимой нагрузки на долото. Для долот диаметром 243–295 мм эта величина составляет не менее 800 кН. Таким образом, имеется значительный резерв для повышения эффективности бурения газовых скважин на угольных месторождениях, но стандартное оборудование не дает возможностей для его реализации.

Для создания высокой нагрузки на забой необходимо использовать специальные устройства, генерирующие динамические нагрузки: наддолотные утяжелители, гидроударники и т.д. Наддолотные утяжелители являются наиболее простыми приспособлениями, представляющими собой груз (или набор грузов), установленными над наковальной, связанной с долотом. При бурении утяжелитель, за счет продольных колебаний долота, поднимается над наковальной, а затем наносит по ней удары, передающиеся на забой. При бурении нефтяных и газовых скважин в применении наддолотных утяжелителей нет практической необходимости вследствие специфики используемого бурового оборудования. Поэтому они не нашли широкого применения в данной отрасли бурения. Но при бескерновом бурении скважин геологоразведочными установками применение наддолотных утяжелителей может быть одним из путей повышения эффективности буровых работ.

Для оценки энергетических параметров наддолотного утяжелителя рассмотрим его движение относительно наковальни, перемещающейся синхронно с долотом по известным закономерностям [1].

Цикл работы наддолотного утяжелителя состоит из следующих фаз:

- совместное движение долота и утяжелителя;
- подъем утяжелителя над наковальной за счет инерции; в конечной точке скорость утяжелителя равна нулю;
- движение утяжелителя к наковальной;
- ударное взаимодействие утяжелителя с наковальной.

В течение первой фазы долото и утяжелитель совершают совместное движение, до тех пор, пока скорость долота достигнет максимума V_0 . После этого происходит отрыв утяжелителя и его подъем над наковальной. Фаза подъема может быть описана в зависимости от соотношения скорости течения жидкости V и начальной скорости утяжелителя V_0 (рис. 1).

В первом случае, когда $V > V_0$, уравнение динамики утяжелителя имеет вид (рис. 1, а):

$$m\ddot{x} = -mg - P_{лс} + P_{гд} + P_{г1} - P_{г2} - P_{тр}, \quad (1)$$

где m — масса утяжелителя; \ddot{x} — ускорение утяжелителя; g — ускорение свободного падения; $P_{лс}$ — сила лобового сопротивления движению утяжелителя; $P_{гд}$ — сила гидродинамического воздействия жидкости на утяжелитель; $P_{г1}$ — сила, обусловленная сопротивлениями при перетекании жидкости по кольцевому зазору вдоль утяжелителя; $P_{г2}$ — сила, обусловленная трением жидкости о боковую поверхность утяжелителя при его движении; $P_{тр}$ — сила трения.

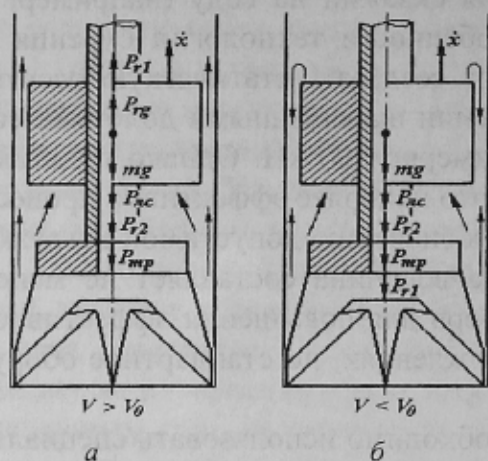


Рис. 1. Расчетные схемы для фазы подъема наддолотного утяжелителя.

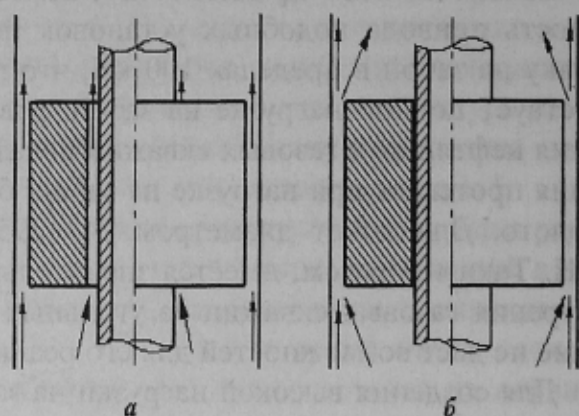


Рис. 2. Схемы движения жидкости в наддолотном утяжелителе

$$P_{лс} = C_x F \frac{\rho \dot{x}^2}{2}, \quad (2)$$

где C_x — коэффициент, учитывающий характер обтекания утяжелителя жидкостью; F — площадь поперечного сечения утяжелителя; ρ — плотность промывочной жидкости; \dot{x} — скорость утяжелителя.

$$P_{гд} = C_x F \frac{\rho(V - \dot{x})^2}{2}, \quad (3)$$

где V — скорость потока жидкости.

$$P_{г1} = F\xi \frac{\rho(V - \dot{x})^2}{2}, \quad (4)$$

где ξ — коэффициент гидравлического сопротивления.

В том случае, если нет перетекания жидкости между грузом и штоком (рис. 2, б), он находится по формуле:

$$\xi = (F/F_K - 1)^2 + 0,5(1 - F_K/F)F_K^2/F^2 + \lambda \frac{l}{D_K - D} \frac{F^2}{F_K^2};$$

в противном случае (рис. 2, а) — по формуле:

$$\xi = (F/F_K - 1)^2 + 0,5(1 - F_K/F)F_K^2/F_K^2 + \frac{2gFl}{V(K_1 + K_2)},$$

где K_1 и K_2 — модули расхода; F_K — площадь кольцевого зазора между утяжелителем и стенкой скважины; l — длина утяжелителя.

$$K_1 = F_K \sqrt{\frac{2g(D_C - D)}{\lambda}};$$

$$K_2 = f_K \sqrt{\frac{2g(D_C - d)}{\lambda}},$$

где D_C — диаметр скважины; D, d — соответственно, наружный и внутренний диаметры утяжелителя; f_K — площадь кольцевого зазора между утяжелителем и штоком; λ, λ_1 — коэффициенты гидравлических сопротивлений в соответствующих кольцевых зазорах.

Для силы $P_{Г2}$ имеем:

— если нет перетока жидкости между грузом и штоком:

$$P_{Г2} = \lambda \frac{l}{D} \rho \frac{\dot{x}^2}{2} F, \quad (5)$$

— если есть переток жидкости:

$$P_{Г2} = \lambda \frac{l}{D} \rho \frac{\dot{x}^2}{2} F + \lambda_1 \frac{l}{d} \rho \frac{\dot{x}^2}{2} F, \quad (6)$$

$$P_{ТР} = mgf_{ТР} \sin \theta, \quad (7)$$

где $f_{ТР}$ — коэффициент трения; θ — зенитный угол скважины.

Тогда уравнение динамики можно привести к виду:

$$\ddot{x} = Ax^2 - B\dot{x} + C, \quad (8)$$

где A, B, C — коэффициенты уравнения.

$$B = \frac{V\rho F}{m} (C_X + \xi),$$

$$C = (C_X + \xi) \frac{F\rho V^2}{2m} - g(1 + f_{ТР} \sin \theta).$$

В случае, если нет перетока жидкости между утяжелителем и штоком, то:

$$A = \frac{Fg}{2m} \left(\xi - \lambda \frac{l}{D} \right).$$

Иначе:

$$A = \frac{Fg}{2m} \left(\xi - \lambda \frac{l}{D} - \lambda_1 \frac{l}{d} \right).$$

При $\Delta = 4AC - B^2 > 0$ решение уравнения (8) имеет вид:

$$\dot{x} = \frac{\sqrt{\Delta}}{2A} \operatorname{tg} \left[\frac{\sqrt{\Delta}}{2} (t + C_1) \right] + \frac{B}{2A}, \quad (9)$$

$$x = -\frac{m}{q} \ln|\cos(qt + p)| + nt + C_2, \quad (10)$$

где $C_1 = \frac{2}{\sqrt{\Delta}} \operatorname{arctg}\left(V_0 - \frac{B}{2A}\right)$; $m = \frac{\sqrt{|\Delta|}}{2A}$; $q = \frac{\sqrt{|\Delta|}}{2}$; $p = C_1$; $n = \frac{B}{2A}$, $C_2 = \frac{m}{q} \ln|\cos p|$.

При $\Delta = 4AC - B^2 < 0$ решение уравнения (8) имеет вид:

$$\dot{x} = \frac{\sqrt{-\Delta}}{2A} \operatorname{th}\left[\frac{\sqrt{-\Delta}}{2}(t + C_1)\right] + \frac{B}{2A}, \quad (11)$$

$$x = \frac{m}{q} \ln|\operatorname{ch}(qt + p)| + nt + C_2, \quad (12)$$

где $C_1 = \frac{2}{\sqrt{-\Delta}} \operatorname{arctg}\left(V_0 - \frac{B}{2A}\right)$, $C_2 = -\frac{m}{q} \ln|\operatorname{ch}(p)|$.

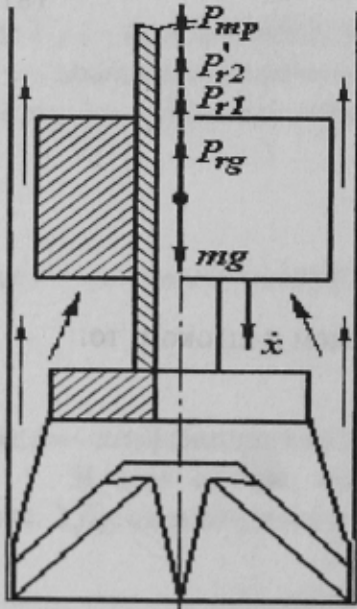
Уравнения (9–12) также описывают движения утяжелителя и на других фазах работы при значениях коэффициентов A , B и C , рассчитанных для конкретных условий каждой фазы по формулам, приведенным ниже.

Во втором случае, когда $V_0 > V$, фаза подъема состоит из двух этапов. Первый этап длится до тех пор, пока значение \dot{x} не станет равным V . Для этого этапа уравнение динамики будет иметь вид (рис. 1б):

$$m\ddot{x} = -mg - P_{\text{ЛС}} - P_{\Gamma 1} - P_{\Gamma 2} - P_{\text{ТР}}, \quad (13)$$

где $P_{\Gamma 1} = F\xi \frac{(\dot{x} - V)^2}{2}$, $P_{\Gamma 2} = \left[\lambda \frac{l}{D} \rho \frac{F}{2} + \lambda_1 \frac{l}{d} \rho \frac{F}{2}\right] \dot{x}^2$.

Приводя уравнение (13) к виду (8), имеем:



$$B = -\frac{V\rho F\xi}{m}; \quad C = -g(1 + f_{\text{ТР}} \sin\theta) - \frac{F\xi\rho V^2}{2m};$$

— если нет перетока жидкости между утяжелителем и штоком:

$$A = \frac{Fg}{2m} \left(C_x + \xi + \lambda \frac{l}{D} \right);$$

— если есть переток жидкости:

$$A = \frac{Fg}{2m} \left(C_x + \xi + \lambda \frac{l}{D} + \lambda_1 \frac{l}{d} \right).$$

После уравнивания скоростей потока и утяжелителя наступает второй этап фазы подъема. Расчеты на втором этапе производятся по формулам для первого случая ($V_0 < V$).

После того, как скорость утяжелителя становится равной нулю, начинается фаза движения утяжелителя к наковальне. Уравнение динамики имеет вид (рис. 3):

$$m\ddot{x} = mg - P_{\text{ГД}} - P_{\text{ГС}} - P_{\text{ТР}}, \quad (14)$$

где $P_{ГД} = C_X Fg \frac{(V + \dot{x})^2}{2}$, $P_{ГС} = \frac{Fg\xi}{2} (V + \dot{x})^2$.

При приведении уравнения (14) к виду (8) коэффициенты уравнения A , B и C определяются следующим образом:

$$A = -\frac{Fg}{2m} (C_X + \xi),$$

$$B = \frac{V\rho F}{m} (C_X + \xi),$$

$$C = g(1 - f_{TP} \sin \theta) - \frac{\rho FV^2}{2m} (C_X + \xi).$$

Последовательно решая уравнения для фаз подъема утяжелителя и его движения к наковальне и учитывая перемещение долота относительно забоя, можно получить значение скорости утяжелителя при его соударении с наковальней, что дает возможность определить силу динамического воздействия утяжелителя на забой по формуле [2]:

$$P = \frac{\rho_M c_M V_C F F_H}{F + F_H + F_{Ш}}, \tag{15}$$

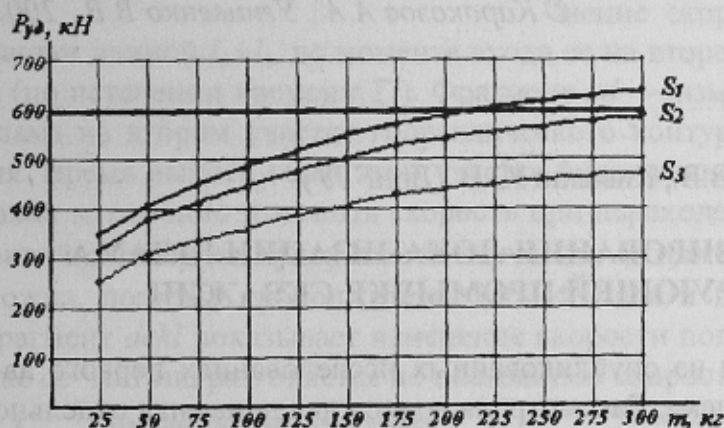


Рис. 4. График зависимости ударного воздействия на забой, создаваемого наддолотным утяжелителем, от его массы и площади поперечного сечения (кривая S_1 — $F=0,0525 \text{ м}^2$, кривая S_2 — $F=0,0472 \text{ м}^2$, кривая S_3 — $F=0,0351 \text{ м}^2$)

где ρ_M , c_M — соответственно, плотность стали и скорость ударной волны в стали; V_C — скорость утяжелителя в момент соударения; F_H , $F_{Ш}$ — соответственно, площадь поперечного сечения наковальни и штока.

Проведенные расчеты, выполненные для условий бурения реальных скважин по добыче газа на угольных месторождениях, позволили получить зависимости, представленные на рис. 4 и 5.

Анализ полученных графических зависимостей показывает, что при допустимой общей нагрузке на долото, равной

800 кН, т.е. при $P_{уд} < 600$ кН, применение наддолотного утяжелителя дает ощутимый эффект. При частоте вращения бурового снаряда 100 об/мин (верхняя заштрихованная зона рис. 5), имея утяжелитель массой до 50 кг, можно обеспечить удары по забою с частотой примерно 10 Гц и усилием 350–400 кН, наносимых синхронно с ударами зубьев долота (полная нагрузка на забой без утяжелителя составляет около 200 кН). При частоте вращения бурового снаряда 60 об/мин (нижняя заштрихованная зона рис. 5), имея утяжелитель массой до 125–250 кг, можно получить удары по забою с частотой 5–7 Гц и усилием 400–600 кН, также наносимых синхронно с ударами зубьев долота.

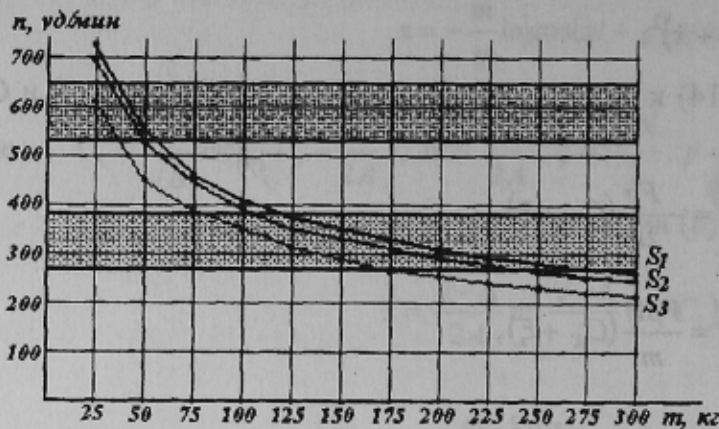


Рис. 5. График зависимости числа ударов наддолотного утяжелителя от его массы и площади поперечного сечения (кривая S_1 — $F=0,0525$ м², кривая S_2 — $F=0,0472$ м², кривая S_3 — $F=0,0351$ м²)

Предварительные расчеты показывают, что применение наддолотного утяжелителя может обеспечить увеличение механической скорости бурения примерно на 15–20%.

Анализ приведенных графиков также показывает, что использование утяжелителей малой массы позволяет создать высокочастотное ударное нагружение забоя, что дает возможность сделать вывод о перспективности их применения также при бурении геологоразведочных скважин шарошечными долотами диаметром 93–151 мм.

Библиографический список

1. Палий П.А., Корнеев К.Е. Буровые долота: Справочник. — М.: Недра, 1971.
2. Александров Е.В., Соколинский Б.В. Прикладная теория и расчет ударных систем. — М.: Недра, 1969.

© Каракозов А.А., Угнивенко В.В., 2001

УДК: 622.243.14.

Филимоненко Н.Т., Поцепаев В.В., Кивалин Ю.В. (ДонГТУ)

АЛГОРИТМ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ШЛАМА ПРИ ПРИЗАБОЙНОЙ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ПРОМЫВКЕ СКВАЖИН

Настоящая статья базируется на опубликованных исследованиях первого автора применительно к данной проблеме. Рассмотрена возможная динамика отдельно взятой частицы шлама в гидравлическом контуре восходящего потока. Предполагается, что момент ее образования на забое совпадает с началом этапа вытеснения t_6 рабочего цикла T пневматического вытеснителя.

Для обеспечения возможности попадания частицы шлама в наружную шламовую трубу 3 (рис. 1), последняя должна пройти расстояние, равное $l_k + l_{ш}$, выйти в пространство выше верхнего торца шламовой трубы 3 и на этапе заполнения $t_{зан}$ опуститься в ее полость на расстояние, превышающее $S_6 - S_1$. На рис. 1 этому расстоянию соответствует отрезок Sn_1 . Это идеальный случай, который не всегда может быть реализован, поскольку расстояние, на которое переместится частица шлама, определяется интенсивностью восходящего потока на этапе вытеснения t_6 и движения жидкости по инерции t_u . Поэтому могут быть следующие случаи. Они представляют отдельные траектории вычислительного процесса:

1) Интенсивность восходящего потока настолько мала, что частица шлама не отрывается от забоя.