

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ УДАРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПРИХВАТОВ В РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИНАХ

Кандидаты техн.наук Каракозов А.А., Рязанов А.Н., Калиниченко О.И. (ДонГТУ)

Наиболее сложными и тяжелыми авариями в разведочном бурении являются прихваты. Как показывает практика бурения скважин на нефть и газ, применение погружных ударных механизмов позволяет значительно повысить эффективность ведения аварийных работ [1, 2]. Но в разведочном бурении подобные устройства используются крайне редко, а в перечень рекомендуемого аварийного инструмента они вообще не входят. Поэтому разработка ударных механизмов для ликвидации прихватов в скважинах малого диаметра является одной из актуальных задач создания эффективных технических средств бурения.

Проведенные в ДонГТУ исследования показали [3], что при эксплуатации в разведочных скважинах весьма эффективны ударные механизмы, использующие гидростатическое давление промывочной жидкости в скважине для создания силовых импульсов,

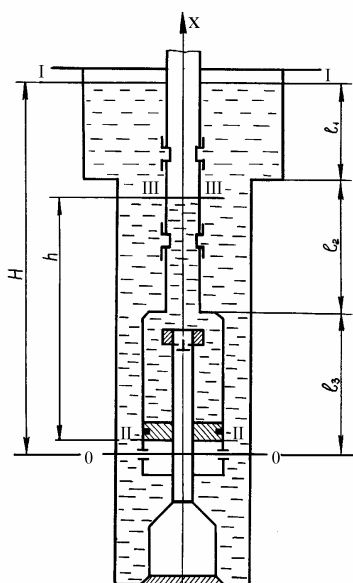


Рис. 1. Расчетная схема для анализа рабочего цикла

воздействующих на аварийный инструмент. Принцип действия подобных устройств заключается в следующем. Ударный механизм спускается в скважину, заполненную промывочной жидкостью, и соединяется с прихваченным снарядом. При этом буровая колонна остается пустой или частично заполняется жидкостью. Затем подбойковая полость цилиндра механизма соединяется с затрубным пространством, и боек перемещается под действием перепада давления между скважиной и буровыми трубами. В конечной точке траектории он наносит удар по наковальне, который передается прихваченному снаряду. Затем боек принудительно возвращается в исходное положение, после чего цикл работы можно повторить. Аварийный снаряд освобождается от прихвата под воздействием ударных нагрузок и пульсаций давления промывочной жидкости в зоне работы механизма.

Основным параметром, определяющим эффективность работы устройства, является скорость бойка в момент удара. Поэтому, установив закономерности изменения скорости бойка во времени в зависимости от конструктивных и технологических факторов, мы сможем прогнозировать энергетические характеристики механизма в конкретных условиях эксплуатации. Ниже приводится уточненное математическое описание рабочего цикла ударного устройства, реализующего гидростатическое давление жидкости в скважине.

Расчетная схема для анализа рабочего цикла приведена на рис.1. Положительное направление скорости поршня-бойка совпадает с положительным направлением оси x . При описании процессов в изображенной гидромеханической системе учитывается изменение уровня жидкости в скважине, вызванное перемещением поршня-бойка устройства. При этом рассматривается два случая: 1 — в буровых трубах отсутствует жидкость; 2 — буровая колонна частично заполнена очистным агентом. Тип промывочной жидкости имеет большое значение при определении гидравлических сопротивлений в скважине. В связи с этим отдельно рассматривается применение в качестве очистного агента как ньютоновских, так и неньютоновских жидкостей.

Для дальнейших расчетов приняты следующие обозначения:

l_i - длина конкретного участка расчетной схемы, м; D_i - диаметр скважины на конкретном участке, м; D - диаметр корпуса механизма, м; d, d_2 - соответственно наружный и внутренний диаметры бурильных труб, м; d_1, d_3 - соответственно наружный и внутренний диаметры соединений бурильной колонны, м; F - рабочая площадь поршня-бойка, м²; n_0 - количество распределительных отверстий; F_0 - площадь распределительного отверстия, м²; H - уровень жидкости в скважине, м; m - масса поршня-бойка, кг; c - скорость распространения гидроударной волны, м/с; t - текущее значение времени, с; e - основание натурального логарифма; g - ускорение свободного падения, м/с²; V_i - скорость течения жидкости на конкретном участке, м/с; V_0 - скорость течения жидкости в цилиндре механизма, м/с; λ_i - коэффициент Дарси для конкретного участка; ρ - плотность жидкости, кг/м³; ξ_i - коэффициенты местных сопротивлений; F_i - площадь потока на конкретном участке, м²; h - высота столба жидкости в бурильных трубах, м; R - сила механического трения в цилиндре механизма, Н; x - текущая координата перемещения бойка, м; \dot{x}, V - скорость перемещения бойка, м/с; \ddot{x} - ускорение бойка, м/с²; n_{ci} - число соединений бурильных труб на конкретном участке; ν - кинематическая вязкость ньютоновской промывочной жидкости, м²/с; η - структурная вязкость неньютоновского очистного агента, Па·с; τ_0 - динамическое напряжение сдвига, Па.

Математическая модель рабочего цикла ударного механизма составлена с учетом следующих допущений:

1. Буровой снаряд расположен концентрично относительно оси скважины.
2. Не учитываются потери напора и инерционный напор жидкости в корпусе механизма.
3. Учитывалось, что в случае малых затуханий волновой характер движения жидкости практически полностью сохраняется. Поэтому без большой погрешности в этом случае из уравнения движения бойка можно исключить слагаемое, учитывающее затухание волновых процессов при воздействии на боек волны повышенного давления [4].

Уравнение движения бойка под действием давления жидкости примет вид:

$$m\ddot{x} = pF - R - mg, \quad (1)$$

где p - давление жидкости в цилиндре механизма, Па.

При определении значения p следует иметь в виду, что перемещение поршня-бойка происходит за счет волны повышения давления, образующейся при обеспечении свободного доступа жидкости через распределительные отверстия в подпоршневую камеру, и силы, обусловленной разностью уровней жидкости в скважине и бурильных трубах. С учетом вышеизложенного, давление на боек можно определить по формуле:

$$p = \rho g \left[\left(H - \frac{xF}{F_1} \right) - \left(h + \frac{xF}{F_4} \right) \right] + \rho c (V_0 - \dot{x}). \quad (2)$$

Тогда уравнение (1) с учетом (2) примет вид:

$$m\ddot{x} = \rho g F (H - h) - \rho g F^2 \left(\frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_4} \right) x + \rho c F (V_0 - \dot{x}) - R - mg. \quad (3)$$

Упростив форму записи и выполнив преобразования, уравнение (3) можно переписать в виде

- для случая, когда в колонне бурильных труб отсутствует жидкость ($h=0$):

$$\ddot{x} + a_1 \dot{x} + c_2 x = b_2 \quad (4)$$

- для случая, когда бурильная колонна частично заполнена жидкостью ($h \neq 0$):

$$\ddot{x} + a_1 \dot{x} + c_1 x = b_1 \quad (5)$$

где $a_1 = \frac{\rho c F}{m}$; $c_1 = \frac{\rho g F^2 \left(\frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_4} \right)}{m}$; $c_2 = \frac{\rho g F^2}{m F_1}$; $b_1 = \frac{\rho g F (H - h) + \rho c F V_0 - R}{m} - g$

$$b_2 = \frac{\rho F (gH - cV_0) - R}{m} - g.$$

В результате интегрирования уравнений (4) и (5) получим формулы для определения скорости бояка устройства:

$$V = \dot{x} = \left(V_0 + \frac{g \left(H - x \frac{F}{F_1} \right)}{c} - \frac{R + mg}{\rho c F} \right) \left(1 - e^{-\frac{\rho c F}{m} x} \right), \quad (h=0); \quad (6)$$

$$V = \dot{x} = \left(V_0 + \frac{g(H-h) - gF \left(\frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_4} \right) x}{c} - \frac{R + mg}{\rho c F} \right) \left(1 - e^{-\frac{\rho c F}{m} x} \right), \quad (h \neq 0). \quad (7)$$

Для нахождения значений V_0 необходимо знать скорость потока в цилиндре механизма, обусловленную разностью уровней жидкости в скважине и бурильных трубах.

1. При пустой бурильной колонне текущее значение скорости определяется в результате решения уравнения баланса энергии жидкости, составленного для сечений I-I и II-II

$$\theta_1' \frac{dV_0}{dt} - \theta_2' x \frac{dV_0}{dt} + \theta_3' V_0^2 - \theta_4' x V_0 + k_1 x + H_0 = 0 \quad (8)$$

где

$$\theta_1' = \frac{1}{g} \left(l_1 k_1 + l_2 k_2 + l_3 k_3 + \frac{m}{\rho F} \right), \quad \theta_2' = \frac{k_1}{g}, \quad \theta_4' = \frac{\lambda_1 k_1^2}{2g \Delta_1},$$

$$\theta_3' = \frac{1}{2g} \left(\frac{\lambda_1 \ell_1 k_1^2}{\Delta_1} + \frac{\lambda_2 \ell_2 k_2^2}{\Delta_2} + \frac{\lambda_3 \ell_3 k_3^2}{\Delta_3} + \xi_1 n_{c1} k_1^2 + \xi_2 n_{c2} k_2^2 + \right. \\ \left. + 0,5(1-k_4)k_2^2 + 0,5(1-k_5)k_3^2 + \left(\frac{k_6^2}{\varepsilon} - 1 \right)^2 + 2k_3^2 - k_1^2 + 1 \right),$$

$$\Delta_1 = D_1 - d, \quad \Delta_2 = D_2 - d, \quad \Delta_3 = D_3 - D, \quad k_1 = \frac{F}{F_1}, \quad k_2 = \frac{F}{F_2}, \quad k_3 = \frac{F}{F_3}, \quad k_4 = \frac{F_2}{F_1},$$

$$k_5 = \frac{F_3}{F_2}, \quad k_6 = \frac{F}{n_0 F_0}, \quad \varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - \frac{n_0 F_0}{F_3}}, \quad \xi_i = 6 \left(\frac{D_i^2 - d^2}{D_i^2 - d_1^2} - 1 \right)^2$$

Для интегрирования уравнения (8) необходимо знать значения $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, которые являются функциями скорости течения жидкости на соответствующем участке расчетной схемы. Поскольку вид функциональной зависимости определяется типом жидкости (ньютоновская и неньютоновская) и режимами её течения, то для решения уравнения необходимо рассмотреть ряд конкретных случаев с различными сочетаниями указанных факторов. Для ньютоновской жидкости при ламинарном режиме течения уравнение (8) примет вид

$$\theta_1' \frac{dV_0}{dt} - \theta_2' x \frac{dV_0}{dt} + \theta_5' V_0^2 + \theta_6' V_0 - \theta_7' x V_0 + k_1 x + H_0 = 0, \quad (9)$$

$$\text{где } \theta_5' = \frac{1}{2g} \left(\xi_1 n_{c1} k_1^2 + \xi_2 n_{c2} k_2^2 + 0,5(1-k_4)k_2^2 + 0,5(1-k_5)k_3^2 + \left(\frac{k_6^2}{\varepsilon} - 1 \right)^2 + 2k_3^2 - k_1^2 + 1 \right),$$

$$\theta_6' = \frac{32\nu}{g} \left(\frac{\ell_1 k_1}{\Delta_1^2} + \frac{\ell_2 k_2}{\Delta_2^2} + \frac{\ell_3 k_3}{\Delta_3^2} \right), \quad \theta_7' = \frac{32\nu k}{g \Delta_1^2};$$

При турбулентном режиме течения жидкости уравнение (8) преобразуется в

$$\theta'_1 \frac{dV_0}{dt} - \theta'_2 x \frac{dV_0}{dt} + \theta'_8 V_0^2 + \theta'_9 V_0^{\frac{3}{2}} - \theta'_{10} x V_0^2 - \theta'_{11} x V_0^{\frac{3}{2}} + k_1 x + H_0 = 0, \quad (10)$$

$$\text{где } \theta'_8 = \frac{1}{2g} \left(\begin{aligned} &0,02 \frac{\ell_1 k_1^2}{\Delta_1} + 0,02 \frac{\ell_2 k_2^2}{\Delta_2} + 0,02 \frac{\ell_3 k_3^2}{\Delta_3} + \xi_1 n_{c1} k_1^2 + \xi_2 n_{c2} k_2^2 + \\ &+ 0,5(1-k_4)k_2^2 + 0,5(1-k_5)k_3^2 + \left(\frac{k_6^2}{\varepsilon} - 1 \right)^2 + 2k_3^2 - k_1^2 + 1 \end{aligned} \right),$$

$$\theta'_9 = 0,85 \frac{\sqrt{v}}{g} \left(\ell_1 \left(\frac{k_1}{\Delta_1} \right)^{\frac{3}{2}} + \ell_2 \left(\frac{k_2}{\Delta_2} \right)^{\frac{3}{2}} + \ell_3 \left(\frac{k_3}{\Delta_3} \right)^{\frac{3}{2}} \right), \quad \theta'_{10} = 0,01 \frac{k_1^2}{g \Delta_1}, \quad \theta'_{11} = 0,85 \frac{\sqrt{v}}{g} \left(\frac{k_1}{\Delta_1} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Для ньютоновской жидкости при ламинарном режиме течения имеем

$$\theta'_1 \frac{dV_0}{dt} - \theta'_2 x \frac{dV_0}{dt} + \theta'_5 V_0^2 - \theta'_{12} x V_0 + \theta'_{13} V_0 + \left(k_1 - \frac{16\tau_0}{3\Delta_1 \rho g} \right) x + \theta'_{15} = 0, \quad (11)$$

$$\text{где } \theta'_{12} = \frac{32\eta k_1}{\Delta_1^2 \rho g}, \quad \theta'_{13} = \frac{32\eta}{\rho g} \left(\frac{\ell_1 k_1}{\Delta_1^2} + \frac{\ell_2 k_2}{\Delta_2^2} + \frac{\ell_3 k_3}{\Delta_3^2} \right), \quad \theta'_6 = \frac{32\tau_0}{\rho g} \left(\frac{\ell_1}{\Delta_1} + \frac{\ell_2}{\Delta_2} + \frac{\ell_3}{\Delta_3} \right) + H_0,$$

При турбулентном режиме течения уравнение (8) примет вид

$$\theta'_1 \frac{dV_0}{dt} - \theta'_2 x \frac{dV_0}{dt} + \left(\begin{aligned} &\frac{0,075}{\sqrt[8]{\frac{V_0 k_1 \Delta_1 \rho}{\eta + \frac{\tau_0 \Delta_1}{6k_1 V_0}}}} \frac{\ell_1 k_1^2}{2g \Delta_1} + \frac{0,075}{\sqrt[8]{\frac{V_0 k_2 \Delta_2 \rho}{\eta + \frac{\tau_0 \Delta_2}{6k_2 V_0}}}} \frac{\ell_2 k_2^2}{2g \Delta_2} + \frac{0,075}{\sqrt[8]{\frac{V_0 k_3 \Delta_3 \rho}{\eta + \frac{\tau_0 \Delta_3}{6k_3 V_0}}}} \frac{\ell_3 k_3^2}{2g \Delta_3} + \theta'_5 V_0^2 - \\ &- \frac{0,075}{\sqrt[8]{\frac{V_0 k_1 \Delta_1 \rho}{\eta + \frac{\tau_0 \Delta_1}{6k_1 V_0}}}} \frac{k_1^2}{2g \Delta_1} x V_0^2 + k_1 x + H_0 = 0 \end{aligned} \right) \quad (12)$$

2. В случае частичного заполнения буровой колонны в результате решения уравнения, составленного на основании баланса энергии для сечений I-I и III-III, получаем

$$\phi'_1 \frac{dV_0}{dt} + \phi'_2 x \frac{dV_0}{dt} + \phi'_3 V_0^2 + \phi'_4 x V_0^2 + \phi'_5 x - \phi'_6 = 0 \quad (13)$$

$$\text{где } \phi'_1 = \frac{1}{g} \left(l_1 k_1 + l_2 k_2 + l_3 k_3 + \frac{m}{\rho F} + h k_7 \right), \quad \phi'_2 = \frac{1}{g} (k_7^2 - k_1), \quad \phi'_4 = \frac{1}{2g} \left(\frac{\lambda_4 k_7^3}{d_2} - \frac{\lambda_1 k_1^2}{\Delta_1} \right),$$

$$\phi'_5 = k_1 + k_7, \quad \phi'_3 = \frac{1}{2g} \left(\begin{aligned} &\frac{\lambda_1 \ell_1 k_1^2}{\Delta_1} + \frac{\lambda_2 \ell_2 k_2^2}{\Delta_2} + \frac{\lambda_3 \ell_3 k_3^2}{\Delta_3} + \frac{\lambda_4 h k_7^2}{d_2} + \xi_1 n_{c1} k_1^2 + \xi_2 n_{c2} k_2^2 + \xi_7 k_7^2 + \\ &+ 0,5(1-k_4)k_2^2 + 0,5(1-k_5)k_3^2 + \left(\frac{k_6^2}{\varepsilon} - 1 \right)^2 + 2k_3^2 - k_1^2 - k_7^2 \end{aligned} \right),$$

$$\phi'_6 = \frac{mg + R}{\rho g F} + h - H, \quad k_7 = \frac{F}{F_4}.$$

Для ньютоновской жидкости при ламинарном режиме течения уравнение (13) примет вид

$$\phi'_1 \frac{dV_0}{dt} + \phi'_2 x \frac{dV_0}{dt} + \phi'_7 V_0^2 + \phi'_8 V_0 + \phi'_9 x V_0 + \phi'_5 x - \phi'_6 = 0, \quad (14)$$

$$\text{где } \phi'_7 = \frac{1}{2g} \left(\xi_1 n_{c1} k_1^2 + \xi_2 n_{c2} k_2^2 + \xi_7 k_7^2 + 0,5(1-k_4)k_2^2 + 0,5(1-k_5)k_3^2 + \left(\frac{k_6^2}{\varepsilon} - 1 \right)^2 + 2k_3^2 - k_1^2 - k_7^2 \right),$$

$$\phi'_8 = \frac{32\nu}{g} \left(\frac{\ell_1 k_1}{\Delta_1^2} + \frac{\ell_2 k_2}{\Delta_2^2} + \frac{\ell_3 k_3}{\Delta_3^2} + \frac{hk_7}{d_2^2} \right), \quad \phi'_9 = \frac{32\nu}{g} \left(\frac{k_7^2}{d_2^2} - \frac{k_1}{\Delta_1^2} \right);$$

При турбулентном режиме течения жидкости

$$\begin{aligned} \phi'_1 \frac{dV_0}{dt} - \phi'_2 x \frac{dV_0}{dt} + \phi'_{10} V_0^2 + \phi'_{11} V_0^{\frac{3}{2}} - \phi'_{12} x V_0^2 - \phi'_{13} x V_0^{\frac{3}{2}} + \phi'_5 x - \phi'_6 = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\text{где } \phi'_{10} = \frac{1}{2g} \left(0,02 \frac{\ell_1 k_1^2}{\Delta_1} + 0,02 \frac{\ell_2 k_2^2}{\Delta_2} + 0,02 \frac{\ell_3 k_3^2}{\Delta_3} + 0,02 \frac{hk_7^2}{d_2} + \xi_1 n_{c1} k_1^2 + \xi_2 n_{c2} k_2^2 + \right.$$

$$\left. + \xi_7 k_7^2 + 0,5(1-k_4)k_2^2 + 0,5(1-k_5)k_3^2 + \left(\frac{k_6^2}{\varepsilon} - 1 \right)^2 + 2k_3^2 - k_1^2 - k_7^2 \right),$$

$$\phi'_{12} = \frac{0,01}{g} \left(\frac{k_7^3}{d_2} - \frac{k_1^2}{\Delta_1} \right),$$

$$\phi'_{11} = 0,85 \frac{\sqrt{\nu}}{g} \left(\ell_1 \left(\frac{k_1}{\Delta_1} \right)^{\frac{3}{2}} + \ell_2 \left(\frac{k_2}{\Delta_2} \right)^{\frac{3}{2}} + \ell_3 \left(\frac{k_3}{\Delta_3} \right)^{\frac{3}{2}} + h \left(\frac{k_7}{d_2} \right)^{\frac{3}{2}} \right), \quad \phi'_{13} = 0,85 \frac{\sqrt{\nu}}{g} \left[\frac{k_7^{\frac{5}{2}}}{d_2^{\frac{3}{2}}} - \left(\frac{k_1}{\Delta_1} \right)^{\frac{3}{2}} \right].$$

Для неньютоновской жидкости при ламинарном режиме течения имеем

$$\phi'_1 \frac{dV_0}{dt} + \phi'_2 x \frac{dV_0}{dt} + \phi'_7 V_0^2 + \phi'_{16} x V_0 + \phi'_{14} V_0 + (\phi'_{17} + \phi'_5) x + \phi'_{15} - \phi'_6 = 0, \quad (16)$$

$$\text{где } \phi'_{14} = \frac{32\eta}{\rho g} \left(\frac{\ell_1 k_1}{\Delta_1^2} + \frac{\ell_2 k_2}{\Delta_2^2} + \frac{\ell_3 k_3}{\Delta_3^2} + \frac{hk_7}{d_2^2} \right), \quad \phi'_6 = \frac{16\tau_0}{3\rho g} \left(\frac{\ell_1}{\Delta_1} + \frac{\ell_2}{\Delta_2} + \frac{\ell_3}{\Delta_3} + \frac{h}{d_2} \right),$$

$$\phi'_{16} = \frac{32\eta}{\rho g} \left(\frac{k_7^2}{d_2^2} - \frac{k_1}{\Delta_1^2} \right), \quad \phi'_{17} = \frac{16\tau_0}{3\rho g} \left(\frac{k_7}{d_2} - \frac{1}{\Delta_1} \right);$$

При турбулентном режиме течения

$$\begin{aligned} \phi'_1 \frac{dV_0}{dt} - \phi'_2 x \frac{dV_0}{dt} + \left(\frac{0,075}{\sqrt[8]{\eta + \frac{\tau_0 \Delta_1}{6k_1 V_0}}} \frac{\ell_1 k_1^2}{V_0 k_1 \Delta_1 \rho} + \frac{0,075}{\sqrt[8]{\eta + \frac{\tau_0 \Delta_2}{6k_2 V_0}}} \frac{\ell_2 k_2^2}{V_0 k_2 \Delta_2 \rho} + \frac{0,075}{\sqrt[8]{\eta + \frac{\tau_0 \Delta_3}{6k_3 V_0}}} \frac{\ell_3 k_3^2}{V_0 k_3 \Delta_3 \rho} + \frac{0,075}{\sqrt[8]{\eta + \frac{\tau_0 d_2}{6k_7 V_0}}} \frac{hk_7^2}{V_0 k_7 d_2 \rho} + \phi'_7 \right) V_0^2 + \\ + \left(\frac{0,075}{\sqrt[8]{\eta + \frac{\tau_0 d_2}{6k_7 V_0}}} \frac{k_7^3}{V_0 k_7 d_2 \rho} - \frac{0,075}{\sqrt[8]{\eta + \frac{\tau_0 \Delta_1}{6k_1 V_0}}} \frac{k_1^2}{V_0 k_1 \Delta_1 \rho} \right) x V_0^2 + \phi'_5 x - \phi'_6 = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

Характер изменения скорости бойка на протяжении рабочего цикла ($t \leq 2H/c$) определялся компьютерной программой, выполняющей следующие функции: 1. Определение вида формулы для расчета скорости бойка; 2. Определение комбинации возможных уравнений для вычисления скорости жидкости; 3. Расчет скорости и хода бойка с выбором уравнения движения жидкости при изменении режима течения. Дифференциальные уравнения (9-12), (14-17) решались методом Рунге-Кутты четвертого порядка. При этом на каждом шаге интегрирования определяется значение скорости бойка устройства. Од-

новременно, методом трапеций определялось приращение перемещения бойка, а затем рассчитывалась величина хода бойка.

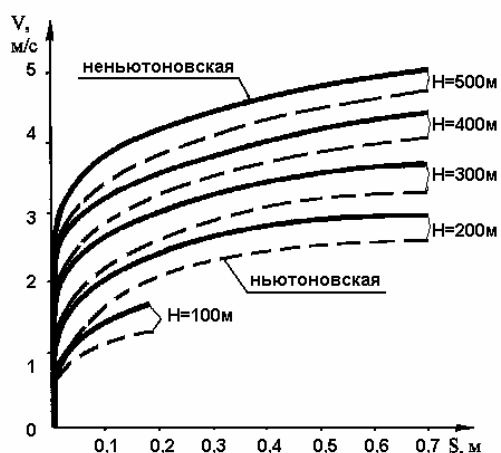


Рис.2. График зависимости скорости бойка от рабочего хода

На рис. 2-4 приведены графические зависимости, построенные для устройства, предназначенного для эксплуатации в скважинах диаметром 93 мм (бурильная колонна СБТМ-50; промывочные жидкости – вода и глинистый раствор с параметрами: $\rho=1150$ кг/м³, $\tau_0=1,5$ Па, $\eta=0,007$ Па·с; $m=20$ кг). Анализ зависимости скорости бойка от величины рабочего хода (рис.2) позволяет сделать вывод о достаточно высоких энергетических параметрах механизма. Ход бойка устройства должен регулироваться в зависимости от уровня жидкости в скважине (H). Целесообразно выбирать его значение, соответствующее времени $2H/c$, в случае, если отсутствуют ограничения по общей длине устройства и по прочности его составных частей.

Зависимость влияния массы бойка (m) на рабочую характеристику устройства представлена на рис.3. Из полученных данных следует, что с увеличением массы скорость бойка практически прямолинейно снижается, хотя энергия удара изменяется незначительно. Следует иметь в виду, что при этом растет длительность и уменьшается амплитуда силового воздействия на прихваченный инструмент.

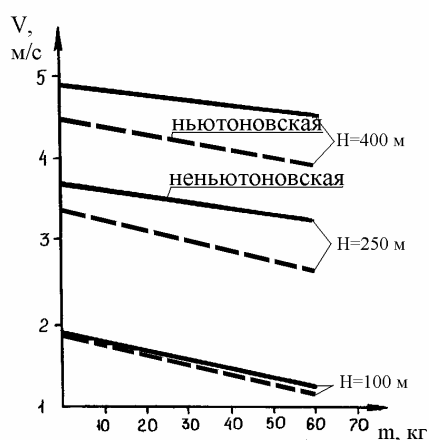


Рис. 3. График зависимости скорости бойка от его массы

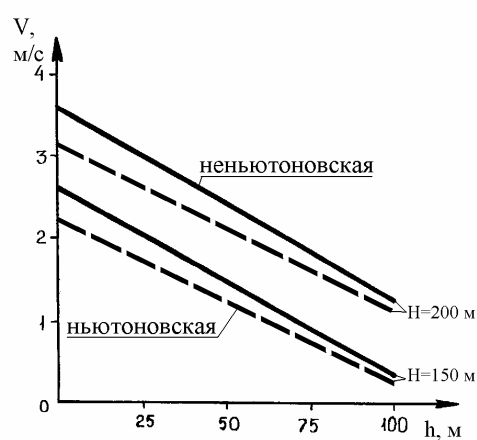


Рис.4. График зависимости скорости бойка от уровня жидкости в бурительных трубах

Повышение уровня жидкости в бурительных трубах (h) резко снижает скорость бойка, уменьшая ее, в конечном итоге, до нулевой величины (рис.4). Но такой способ регулирования рабочих параметров может иметь практическую ценность при больших глубинах скважин, когда необходимо частично заполнять бурительную колонну для выполнения условия прочности ее на смятие.

По значению предупредной скорости бойка определяется величина силового воздействия на зону прихвата. Усилие в штоке устройства при ударе:

$$P_{ш} = V\rho_m c_m \frac{f_1 f_3}{f_1 + f_2 + f_3}, \quad (18)$$

где f_1, f_2, f_3 - площади поперечного сечения, соответственно, бойка, наковальни и штока,

м^2 ; ρ_m - плотность материала элементов механизма, $\text{кг}/\text{м}^3$; c_m - скорость распространения ударной волны в элементах устройства, $\text{м}/\text{с}$.

Тогда усилие, передаваемое на зону прихвата (с учетом отражения волны упругой деформации от границы прихвата и от перехода со штока на аварийный инструмент):

$$P_y = 2\lambda P_{ш}, \quad (19)$$

где $\lambda = 2 / (1 + f_c / f_3)$; f_c - площадь поперечного сечения прихваченного снаряда, м^2 .

Предлагаемая методика расчета позволяет получить основные закономерности работы устройств для ликвидации прихватов бурового снаряда, использующих гидростатическое давление жидкости в скважине. Полученные зависимости дают возможность оценить энергетические показатели механизма в конкретных условиях эксплуатации и являются базой для проектирования устройств по заданным параметрам.

Библиографический список

1. Пустовойтенко И.П. Предупреждение и ликвидация аварий в разведочном бурении. - М.: Недра, 1988.
2. Kemp G. Oilwell Fishing Operation: Tools and Techniques. – Gulf Publishing Company, Book Division, 1986.
3. Каракозов А.А. Разработка и исследование ударных механизмов для ликвидации прихватов в скважине: Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Донецк, ДПИ, 1993.
4. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. – М.: Недра, 1975.