УДК 621.398

С.С.СТАРОДЕД
аспирант кафедры электротехники и электромеханики

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ КОЛОНКОВЫЙ БУРОВОЙ СНАРЯД НА ГРУЗОНЕСУЩЕМ КАБЕЛЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИЗАБОЙНЫХ ЗОН НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Рассмотрен электромеханический колонковый динамически уравновешенный буровой снаряд на грузонесущем кабеле, его назначение, область применения, конструктивная и расчетная схемы, математическая модель, структурная схема замкнутой системы положительной обратной связью.

The paper studies a dynamically-balanced electromechanical core drilling tool on a carrying cable, its purpose and the area of its application, construction and design diagrams, a mathematical model and a block scheme of the closed system with positive feedback.

При разработке нефтяных месторождений значительное число нефтяных пластов склонно к выносу песка в призабойную зону добычных скважин, а также к образованию в этих зонах пробок из асфальтосмолистых парафиновых отложений (АСПО). Это приводит к снижению дебита скважин в несколько раз. Так, например, по этой причине при разработке некоторых нефтяных месторождений высоковязких нефтей в Республике Коми дебит добычных скважин снижается в 3-4 раза [1]. Кроме того, при разработке месторождений высоковязких нефтей тепловыми методами для постановки в зону продуктивного пласта различных скважинных электротермических устройств (электронагревателей и электропарогенераторов), разработка которых ведется в СПГГИ (ТУ), необходимо иметь гарантированную чистоту и проектный диаметр призабойной зоны обрабатываемых скважин. Поэтому задача разработки активного инструмента для очистки призабойной зоны обрабатываемых скважин, каким является предлагаемый буровой снаряд (рис.1) на грузонесущем кабеле, чрезвычайно актуальна.

В качестве электропривода могут быть использованы асинхронные короткозамкнутые, вентильно-индукторные, синхронные с постоянными магнитами электродвигатели.

Буровой снаряд представляет собой двухмассовую электромеханическую систему [2]. Статор и ротор соединены упругим элементом (торсионом) и совершают возвратно-вращательные движения вокруг оси скважины относительно неподвижного узлового сечения *А-А* под действием знакопеременного момента электродвигателя с собственной частотой системы. Давление на забой и момент сопротивления на коронке определяются общей массой снаряда.

На расчетной схеме упругий элемент (торсион) представлен невесомым валом длиной l (рис.1, *б*). Под действием момента электромеханического преобразователя $M_д$ масса с моментом инерции J_1 перемещается в направлении действия момента $M_д$ на угол φ_1 в неподвижной системе координат. Под действием этого же момента масса J_2 поворачивается на угол φ_2 в противоположном направлении. Узловое сечение *А-А* на расстоянии a от J_1 и b от J_2, неподвижно, относительно него происходит вращение верхней и нижней массы. Со стороны упругого элемента на массы J_1 и J_2 действуют упругие моменты $M_{у12} = M_{у21}$, которые определяются коэффициентом жесткости и углом закручивания торсиона. На J_2 (нижняя часть снаряда) со стороны забоя на буровую коронку и колонковую трубу действует момент сопротивления $M_с$, который в расчете представлен аддитивной комбинацией моментов вязкого и сухого трений $M_{тр}$, соответственно $M_{ж.т2}$ и $M_с$.

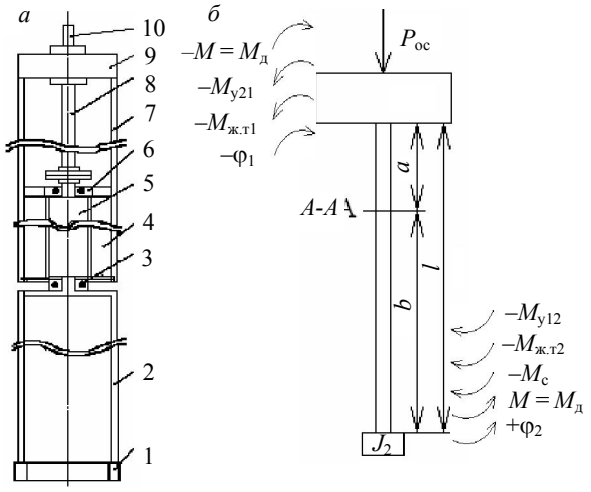


Рис.1. Электромеханический динамически уравновешенный колонковый буровой снаряд: *а* – конструктивная схема; *б* – расчетная схема 1 – буровая коронка; 2 – колонковая труба; 3, 6 – подшипниковые узлы; 4 – статор ЭД; 5 – ротор электродвигателя; 7 – верхняя труба; 8 – упругий элемент; 9 – кабельный замок; 10 – грузонесущий кабель

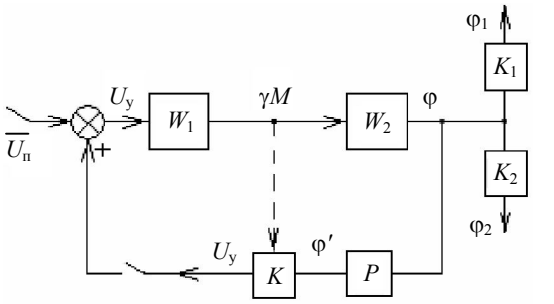


Рис.2. Структурная схема замкнутой системы с положительной обратной связью по скорости W_1 – электромеханический преобразователь энергии; W_2 – механическая система; K – коэффициент передачи положительной обратной связи по скорости

Энергия, потребляемая из сети, при работе на резонансной частоте рассматриваемой электромеханической системы расходуется на совершение работы с моментом сопротивления на коронке и на покрытие потерь трения. На поддержание колебаний на резонансной частоте при высокой добротности колебательной системы энергии извне практически не требуется, чем и объясняется высокий КПД резонансных машин.

Математическая модель рассматриваемой системы может быть получена с помощью уравнений Лагранжа, которые дают наиболее общую форму записи дифференциальных уравнений движения голономных систем в обобщенных координатах:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial q_i'}\right)-\frac{\partial T}{\partial q_i}=Q_i, \qquad (1)$$

где T – кинетическая энергия системы; Q_i – обобщенная сила, $i=1,2,3\ldots n$; q_i – обобщенная координата ($q_1=\varphi_1$; $q_2=\varphi_2$).

После определения T, Q_i и преобразований уравнения (1) примут вид

$$\begin{cases}\varphi_1''-\dfrac{c}{J_1}(\varphi_2-\varphi_1)=-\dfrac{M}{J_1}+\dfrac{M_{\text{æ.òl}}}{J_1};\\ \varphi_2''+\dfrac{c}{J_2}(\varphi_2-\varphi_1)=\dfrac{\grave{I}}{J_2}-\dfrac{M_{\text{c}}}{J_2},\end{cases} \qquad (2)$$

где φ_1, φ_2 – угол поворота статорной и роторной части соответственно; $M_{\text{æ.òl}}$, $\grave{I}_{\text{ñ}}$ и M – моменты жидкого, сухого трений и электромагнитного электродвигателя; J_1, J_2 – моменты инерции статорной и роторной частей соответственно; c – коэффициент жесткости торсиона.

Принимая $\varphi=\varphi_1-\varphi_2$, получим

$$\varphi''+\mu\varphi'+\Omega_0^2\varphi=\gamma M, \qquad (3)$$

где Ω_0 – собственная частота электромеханической системы, $\Omega_0^2=c\dfrac{J_1+J_2}{J_1J_2}$; $\gamma=\dfrac{J_1+J_2}{J_1J_2}$; $M=M_{\text{ì}}\sin\omega t$; μ – коэффициент эквивалентного вязкого трения.

Для определения амплитуд вынужденных колебаний системы с сухим трением из условий равенства работ сил сухого и эквивалентного вязкого трения коэффициент вязкого трения [3]

$$\mu\approx\frac{4{,}4M_{\text{ñ}}J_1}{\pi A\omega(J_1+J_2)J_2}. \qquad (4)$$

При действии на массы J_1 и J_2 разнонаправленных моментов $M_1=M_2=M$ углы поворотов этих масс относительно сечения *A-A* определяются соотношениями

$$-\varphi_1=\frac{\varphi J_2}{J_1+J_2};\ \varphi_2=\frac{\varphi J_1}{J_1+J_2}. \qquad (5)$$

Для того чтобы воспользоваться методом передаточных функций, который позво-

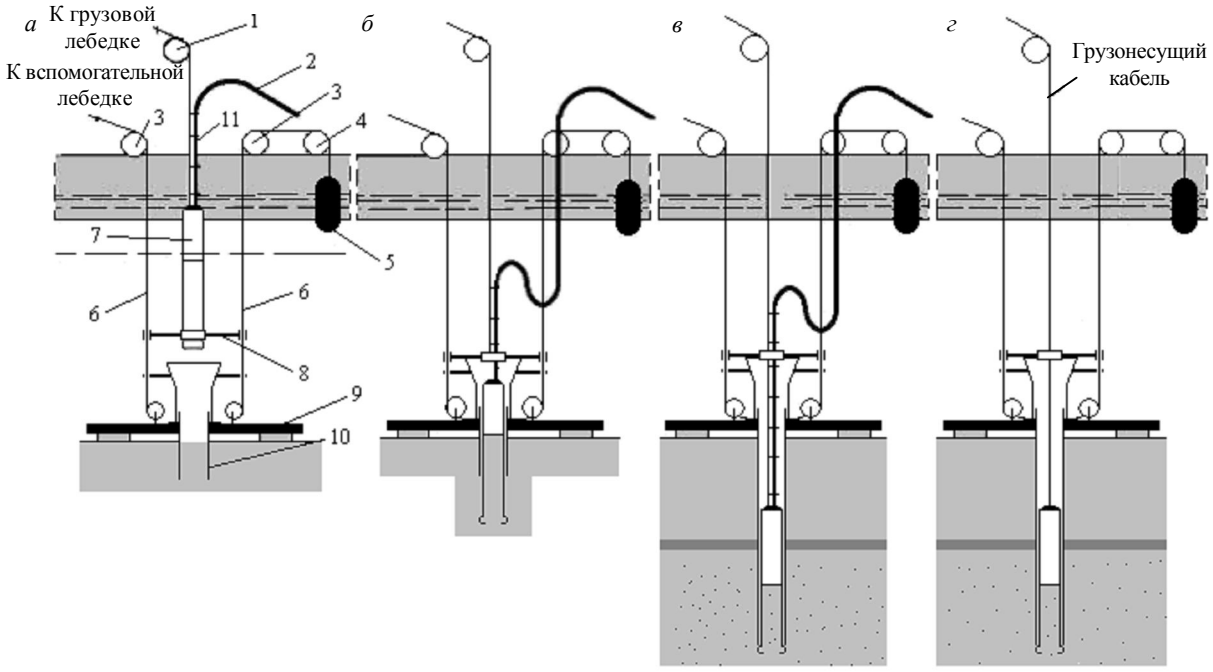


Рис.3. Схема работы установки УМБ-130 (http;//ggf.donntu.edu.ua/caf/ttgr/russian/razrab/umb.htm.): *а* – спуск бурового снаряда; *б* – проходка первого интервала скважины; *в* – проходка последующих интервалов скважины; *г* – при замене бурового снаряда с гидроударником на колонковый ДУБС
1 – канифас-блок, устанавливаемый на грузовой стреле; 2 – шланг; 3 – блоки направляющего каната; 4 – ролик компенсирующего груза; 5 – компенсирующий груз; 6 – направляющие канаты; 7 – погружной буровой снаряд; 8 – хомут; 9 – основание опоры; 10 – короткая обсадная (направляющая) труба; 11 – скобы для соединения каната и шланга

ляет получить все динамические характеристики системы, уравнения (3) в операторной форме запишем в виде

$$\varphi(\eth)\left(p^2+\mu p+\Omega_0^2\right)=\gamma M(\eth). \qquad (6)$$

Передаточная функция разомкнутой системы

$$W_{\varphi\eth}(p)=\frac{\varphi(p)}{M(p)}=\frac{\gamma}{p^2+\mu\, p+\Omega_0^2}. \qquad (7)$$

Передаточная функция замкнутой положительной обратной связью системы

$$W_{\varphi\varsigma}(\eth)=\frac{W_\varphi(\eth)}{1-W_\varphi(p)K\varphi'}=$$

$$=\frac{\gamma}{p^2+(\mu-\gamma K)p+\Omega_0^2}. \qquad (8)$$

Из (8) видно, что при $K=\mu/\gamma$ система вырождается в консервативное звено, обладающее колебательной устойчивостью.

Для обеспечения устойчивой работы системы в автоколебательном режиме необходимо коэффициент передачи положительной обратной связи K изменять в соответствии с (4) в зависимости от момента сопротивления на буровой коронке (рис.2).

Следует также отметить, что снаряд может использоваться для взятия проб со дна Мирового океана и бурения ледников (Антарктида, Арктика и др.). В настоящее время известны погружные гидроударные установки серии УМБ-130 для многорейсового бурения подводных скважин глубиной до 35 м при геолого-разведочных работах на шельфе (рис.3), в частности, при инженерно-геологических изысканиях с неспециализированных судов. В установке используется буровой снаряд с гидроударником, поэтому он позволяет брать только донные пробы ила, глины, песка, но не может брать пробы скальных пород.

Применение в установке УМБ-130 колонкового динамически уравновешенного

бурового снаряда позволит брать донные пробы скальных пород, что существенно расширит область применения легких буровых установок на неспециализированных судах на шельфовых нефтяных и газовых месторождениях.

Колонковый динамически уравновешенный буровой снаряд можно рекомендовать к применению в следующих случаях:

1) для очистки призабойных зон скважин для увеличения нефтеотдачи пластов, склонных к пескопроявлению и образованию пробок из асфальтосмолистых парафиновых отложений;

2) для бурения подводных скважин на шельфовых месторождениях нефти и газа глубиной свыше 30 м с отбором керна скальных пород с неспециализированных судов;

3) для бурения ледовых отложений в Антарктиде, Арктике и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Паненко И.А.* Повышение нефтеотдачи пластов месторождений на поздней стадии разработки // Нефтяное хозяйство. 1993. № 4.

2. Пат. 2228420 РФ. МКИ[3] Е 21 В 4/04. Колонковый буровой снаряд с электрическим приводом / Э.А.Загривный, В.А.Соловьев. Заявл. 08.07.02. Опубл. 10.05.04. Бюл. № 13.

3. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле: Пер. с англ. / С.П.Тимошенко, У.Уивер, Д.Х.Янг / Под. ред. Э.И.Григолюка. М: Машиностроение, 1985.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Э.А.Загривный*