

**Э.А.ЗАГРИВНИЙ**, *д-р техн. наук, профессор, zagrivniy@yandex.ru*

**А.Н.ФОМЕНКО**, *аспирант, chicher1@yandex.ru*

*Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)*

**E.A.ZAGRIVNIY**, *Dr. in eng. sc., professor, zagrivniy@yandex.ru*

**A.N.FOMENKO**, *post-graduate student, chicher1@yandex.ru*

*Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)*

## **АВТОРЕЗОНАНСНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ДИНАМИЧЕСКИ УРАВНОВЕШЕННОГО БУРОВОГО СНАРЯДА НА ГРУЗОНЕСУЩЕМ КАБЕЛЕ**

Рассмотрен несимметричный режим колебаний буровой коронки при формировании однополярного электромагнитного момента на каждом периоде колебаний динамически уравновешенного бурового снаряда (ДУБС). Разработана методика для оценки первого приближения скорости вращения ДУБС вокруг своей оси при работе в несимметричном режиме.

**Ключевые слова:** электропривод, авторезонанс, буровой снаряд, колебания, методика, вязкое трение, работа, коэффициент затухания.

## **SWINGING MOVEMENT AUTORESONANT ELECTRIC DRIVE WITH NONSYMMETRIC EXCITATION OF DYNAMICALLY COUNTER-BALANCED DRILLING STRING ON CARRYING CABLE**

Considered nonsymmetric mode of drill bit oscillations when forming a unipolar electromagnetic torque on each cycle oscillations of dynamically balanced drill. Developed a method for estimating speed of rotation drill around its axis when working in the nonsymmetric mode at first approximation.

**Key words:** electric drive, autoresonance, drilling string, oscillations, method, viscous friction, work, damping factor.

К недостаткам существующих буровых снарядов на грузонесущем кабеле можно отнести наличие редукторов и распорных устройств для компенсации реактивного момента на буровой коронке, что усложняет конструкцию, снижает надежность работы устройства, а также делает снаряд неработоспособным при бурении скважин в слабоцементированных, рыхлых породах и интервалах с кавернами [1].

Разрабатываемые в СПГГИ (ТУ) динамически уравновешенные буровые снаряды с электроприводом возвратно-вращательного движения (ВВД) лишены указанных

недостатков [2, 3, 5, 6]. Это позволяет расширить область применения электромеханических буровых снарядов на грузонесущем кабеле и использовать их для: взятия донных проб рек, озер, морей и океанов, подледникового озера Восток в Антарктиде, многорейсового бурения в шельфовых зонах с бортов неспециализированных судов, вскрытия продуктивных пластов, очистки призабойных зон нефтяных и газовых скважин, а также скважин на пресные и минеральные воды.

Буровой снаряд представляет собой двухмассовую колебательную электромеха-

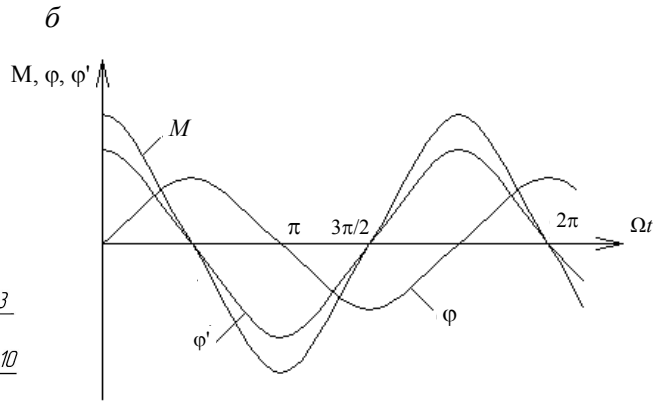
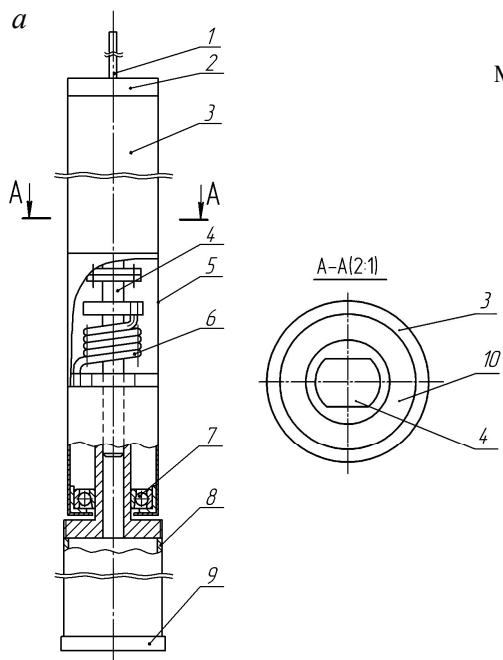


Рис.1. Конструктивная схема ДУБС (а) и график процесса установившихся вынужденных колебаний на резонансной частоте электромеханической системы (б)

1 – грузонесущий кабель; 2 – кабельный замок; 3 – ЭД с электроотсеком; 4 – ротор ЭД; 5 – статорная труба; 6 – пружина кручения; 7 – подшипниковый узел; 8 – колонковая труба; 9 – буровая коронка; 10 – статор ЭД

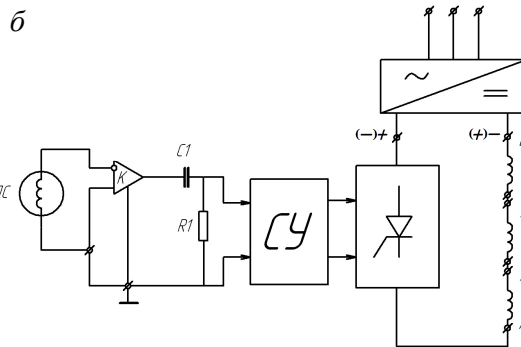
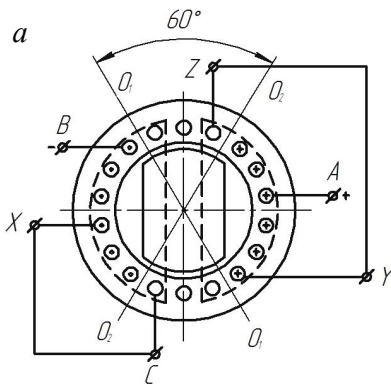


Рис.2. Схема соединения обмоток статора и положения ротора при фиксации пружинной кручения (а) и схема управления авторезонансными несимметричными колебаниями (б); ДС – датчик скорости, К – компаратор

ническую систему (ЭМС) с электроприводом возвратно-вращательного движения (рис.1, а). Статорная часть 2, 5, 10 погружного маслозаполненного асинхронного двигателя соединена с роторной частью 4, 8, 9 упругим элементом – пружиной кручения 6 [5]. При постановке снаряда на забой и подаче на статорные обмотки электродвигателя напряжения, формирующего знакопеременный электромагнитный момент, статорная и роторная части совершают возвратно-вращательные движения в противоположных направлениях.

Учитывая свойства установившихся вынужденных колебаний, при которых в

резонансном режиме фазы электромагнитного момента электродвигателя (ЭД) и скорости колебаний совпадают, принят следующий способ управления: для обеспечения автоколебаний на резонансной частоте необходимо и достаточно, чтобы на каждом полупериоде колебаний электромагнитный момент ЭД  $M_{ЭМ}$  совпадал по фазе со скоростью колебаний электромеханической системы  $\varphi'$  и менял свой знак в точках  $\varphi' = 0$  (рис.1, б) [3, 5].

Для реализации авторезонансного режима принят нетрадиционный электропривод на основе статора погружного асинхронного электродвигателя ПЭДУК с яв-

нополюсным ротором с одной парой полюсов (рис.1, а). При указанной на рис.2, а схеме соединения обмоток и фиксации ротора с помощью пружины кручения (рис.1, а) размах симметричных колебаний ротора составляет 60°. При этом максимальный электромагнитный момент двигателя составит не менее 1,3 номинального момента принятого ЭД.

В таком режиме буровая коронка совершает возвратно-вращательные движения вокруг оси скважины, при этом отдельно взятая часть буровой коронки прорабатывает определенную часть забоя, равную размаху колебаний нижней части ДУБС.

Неравномерный износ режущей части алмазной буровой коронки или поломка части резцов может приводить к нарушению процесса бурения вплоть до прекращения проходки скважины. Для устранения этого недостатка предложена схема питания обмоток электродвигателя, обеспечивающая несимметричные колебания буровой коронки. В этом случае, при нулевой скорости буровой коронки, напряжение на обмотки электродвигателя подается только один раз в период длительностью, равной половине периода. Обратное перемещение осуществляется за счет энергии, накопленной пружиной кручения на рабочем ходе, упругий момент которой в крайнем положении в несколько раз больше, чем пусковой момент двигателя. Наличие демпфирования колебаний при работе под нагрузкой приводит к возникновению комбинированного движения снаряда, при котором возвратно-вращательные движения сопровождаются вращением ДУБС вокруг своей оси. При этом забой равномерно прорабатывается каждой частью буровой коронки. Направление вращения ДУБС вокруг своей оси зависит от полярности напряжения, приложенного к обмоткам двигателя (рис.2, б).

Практический интерес представляет вопрос оценки скорости вращения ДУБС вокруг своей оси при работе в несимметричном режиме, которая может быть определена в следующей последовательности.

1. Определяются основные технологические и динамические параметры ДУБС для

симметричного режима возвратно-вращательного движения буровой коронки [3,6]:

Линейная скорость буровой коронки, м/с . . . . .	3,2
Масса снаряда с доп. грузом, кг . . . . .	230
Момент инерции верхней (статорной) части снаряда $J_1$ , кг·м <sup>2</sup> . . . . .	0,462
Момент инерции нижней (роторной) части снаряда $J_2$ , кг·м <sup>2</sup> . . . . .	0,079
Коэффициент жесткости пружины, Нм/рад . . . . .	2400
Размах колебаний статора относительно ротора $\varphi_0$ , рад . . . . .	0,524
Амплитуда колебания буровой коронки $\varphi_2$ , рад . . . . .	0,447
Мощность нагрузки на буровой коронке $P_K$ , кВт . . . . .	4,0

2. Резонансная частота, необходимая для обеспечения заданной линейной скорости буровой коронки

$$f_p = \frac{v_{CP}}{2\varphi_2 D_{CP}} = \frac{3,2}{2 \cdot 0,447 \cdot 0,122} = 30 \text{ Гц}$$

3. Работа, совершаемая буровой коронкой за один период

$$W_{\Sigma} = \frac{P_K}{f_p} = \frac{4000}{30} = 133,3 \text{ Дж}$$

4. Эквивалентный коэффициент вязкого сопротивления [4]

$$\eta_{\Sigma} = \frac{W_{\Sigma}}{\pi\varphi_2^2\Omega_0} = \frac{133,3}{3,14 \cdot 0,447^2 \cdot 188,5} = 1,127 \text{ Н·мс/рад}$$

5. Коэффициент затухания [4]

$$n = \frac{\eta_{\Sigma}}{2J_2} = \frac{1,127}{2 \cdot 0,079} = 7,11$$

6. Амплитудное значение  $\varphi_1 = \varphi(T/2)$  под действием пружины кручения

$$|\varphi_1| = \varphi_2 e^{-nt} = 0,447 \cdot e^{-7,11 \cdot 0,0167} = 0,397 \text{ рад}$$

7. Разность амплитудных углов поворота ДУБС за один период колебаний

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 0,447 - 0,397 = 0,05 \text{ рад}$$

8. Скорость вращения ДУБС вокруг своей оси

$$v_{os} = \frac{\Delta\varphi \cdot f_p \cdot 30}{\pi} = \frac{0,05 \cdot 30 \cdot 30}{3,14} = 14,33 \text{ об/мин}$$

## Выводы

1. Лабораторные экспериментальные исследования подтвердили работоспособность ДУБС с несимметричным возбуждением.

2. При работе ДУБС в несимметричном режиме исключаются нарушения процесса бурения, вызванные неравномерным износом режущей части буровой коронки.

3. Схема питания электропривода ДУБС позволяет использовать питающий грузонесущий кабель с минимальным количеством жил для питания обмоток статора, системы управления и датчика забоя.

4. Повышается надежность работы ДУБС, поскольку вся силовая и контрольно-измерительная части системы управления размещаются на поверхности.

5. Разработанная методика позволяет оценить в первом приближении скорость вращения ДУБС вокруг своей оси при работе в несимметричном режиме в соответствии с динамическими параметрами системы ДУБС и значениями нагрузок на буровой коронке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 1716067. Буровой снаряд / Н.И.Васильев, П.Г.Талалай, В.К.Чистяков. 1992. Бюл.№ 8.

2. Пат. № 2337225 РФ. Электромеханический колонковый буровой снаряд / Э.А.Загривный, В.В.Рудаков, С.С.Стародед, Ю.А.Гаврилов. Оpubл. 27.10.2008.

3. *Staroded S.S.* Электромеханический колонковый буровой снаряд на грузонесущем кабеле для очистки призабойных зон нефтяных скважин / С.С.Стародед, Э.А.Загривный // Записки Горного института. СПб, 2007. Т.173.

4. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. М., 1967.

5. Пат. № 2009146092 РФ. Электромеханический колонковый буровой снаряд / Э.А.Загривный, А.Н.Фоменко В.В.Иваник. Оpubл. 11.12.2009.

6. *Fomenko A.N.* Resonant electric drive of dynamically counterbalanced drilling string on carrying cable with swinging movement. «Challenges and solutions in mineral industry». 2009.

## REFERENCES

1. A.s. № 1716067. Drilling string / N.I.Vasiliev, P.G.Talalay, V.K.Chistyakov. 1992. Bull. № 8.

2. Weasel electromechanical drill. Patent of Russian Federation, № 2337225 / E.A.Zagrivny, V.V.Rudakov, S.S.Staroded, Y.A.Gavrilov. 27.10.2008.

3. *Staroded S.S.* Weasel electromechanical drill on cargo carrying cable for bottom zones of oil wells cleaning / S.S.Staroded, E.A.Zagrivny // The Proceedings of the Mining Institute. Saint Petersburg. 2007. V.173.

4. Timoshenko S.P. Oscillations in engineering. Moscow, 1967.

5. Weasel electromechanical drill. RF patent for utility model № 2009146092 / E.A.Zagrivny, A.N.Fomenko, V.V.Ivanik. 11.12.2009.

6. Fomenko A.N. Resonant electric drive of dynamically counterbalanced drilling string on carrying cable with swinging movement. «Challenges and solutions in mineral industry», 2009.