УДК 621.398

А.Н.ФОМЕНКО, *аспирант, chicher1@yandex.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

A.N.FOMENKO, *post-graduate student, chicher1@yandex.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОРЕЗОНАНСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Представлены математическая и имитационная модели динамически уравновешенного бурового снаряда. Приведены результаты моделирования авторезонансных режимов с несимметричным возбуждением колебаний буровой коронки динамически уравновешенного бурового снаряда на грузонесущем кабеле (ДУБС).

Ключевые слова: электропривод, авторезонанс, буровой снаряд, колебания, методика, вязкое трение, работа, имитационная модель, моделирование.

SIMULATION OF SWINGING MOVEMENT AUTORESONANT ELECTRIC DRIVE WITH NONSYMMETRIC EXCITATION

Mathematical and simulation models of drill bit oscillations. Method for calculating the model works elastic, electromagnetic and load torques has been developed. Simulation results of autoresonant regimes with asymmetric excitation oscillations of dynamically counter balanced drilling string on the cargo-carrying cable drill bit are represented.

Key words: electric drive, autoresonance, drilling string, oscillations, method, viscous friction, work, simulation model, modeling.

В работах [1-3] представлены результаты теоретических и лабораторных экспериментальных исследований авторезонансного электропривода возвратно-вращательного движения ДУБС. Разработаны методики определения динамических параметров ДУБС для симметричных режимов возвратно-вращательных движений буровой коронки. В таком режиме буровая коронка совершает симметричные возвратно-вращательные движения вокруг оси скважины. При этом отдельно взятая часть буровой коронки прорабатывает определенную часть забоя, равную размаху колебаний буровой коронки. 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 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 движе-

ния 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.

Рассматриваемая электромеханическая колебательная система может быть представлена в виде

$$\begin{cases} \varphi'' + M_{\text{К}} + \Omega_0^2 \varphi = \gamma M_{\text{Д}}, \ \varphi' \le 0 \\ \varphi'' + M_{\text{К}} + \Omega_0^2 \varphi = 0, \ \varphi' > 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где φ, φ', φ'' – угол, скорость и ускорение точки системы, рад, рад/с, рад/с^2 соответственно; $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$, где φ_1, φ_2 – углы поворота верхней и нижней частей снаряда соответственно; $\varphi_1 = \varphi \dfrac{J_2}{J_1 + J_2}$, рад; $\varphi_2 = \varphi \dfrac{J_1}{J_1 + J_2}$, рад; $M_{\text{Д}} = M_{\text{MAX}} \sin \varphi$ – электромагнитный момент, Нм; Ω_0 – собственная частота системы, 1/с; $\Omega_0 = \sqrt{c \dfrac{J_1 + J_2}{J_1 J_2}}$; c – коэффициент жесткости пружины кручения; $\gamma = \dfrac{J_1 + J_2}{J_1 J_2}$; $M_{\text{К}}$– приведенный момент сопротивления на буровой коронке; $M_{\text{К}} = \dfrac{M_{\text{С}}}{J_2}$, где $M_{\text{С}}$ – комбинированный момент сопротивления на буровой коронке,

$$M_{\text{С}} = \mu_1 \varphi' + M_{\text{СТ}} \cdot \text{sign}(\varphi') + M_{\sigma}, \quad (2)$$

где $M_{\text{СТ}}$ – момент сухого трения, Нм; μ_1 – коэффициент вязкого трения, Нмс/рад; M_σ – случайная составляющая момента на буровой коронке, Нм.

Моделирование проводилось в программе MathLAB, пакет SimuLink (см.рисунок).

Целью моделирования являлось исследование авторезонансных режимов с несимметричным возбуждением колебаний буровой коронки динамически уравновешенного бурового снаряда на грузонесущем кабеле. Численные значения динамических и технологических параметров при моделировании:

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^2	0,462
Момент инерции нижней (роторной) части снаряда J_2, кг·м^2	0,079
Коэффициент жесткости пружины, Н·м/рад	2400
Размах колебаний статора относительно ротора φ_0, рад	0,524
Амплитуда колебания буровой коронки φ_2, рад.	0,447
Мощность нагрузки на буровой коронке P_K, кВт.	4,0

Имитационная модель включает в себя блоки: 1 – моделирования ЭМС ДУБС по уравнению (2); 2 – формирования случайной нагрузки на буровой коронке; 3 – вычисления работ, производимых электродвигателем, моментами сил вязкого и сухого трения и пружиной кручения за цикл; 4 – формирования моментов нагрузки. Разработанная модель позволяет проводить исследования колебаний буровой коронки с симметричным и несимметричным возбуждением колебаний ДУБС, а также вычислять работу упругих, электромагнитных и нагрузочных моментов за период колебаний.

Моделирование колебаний с несимметричным возбуждением обмоток двигателя ДУБС проводится по следующей методике:

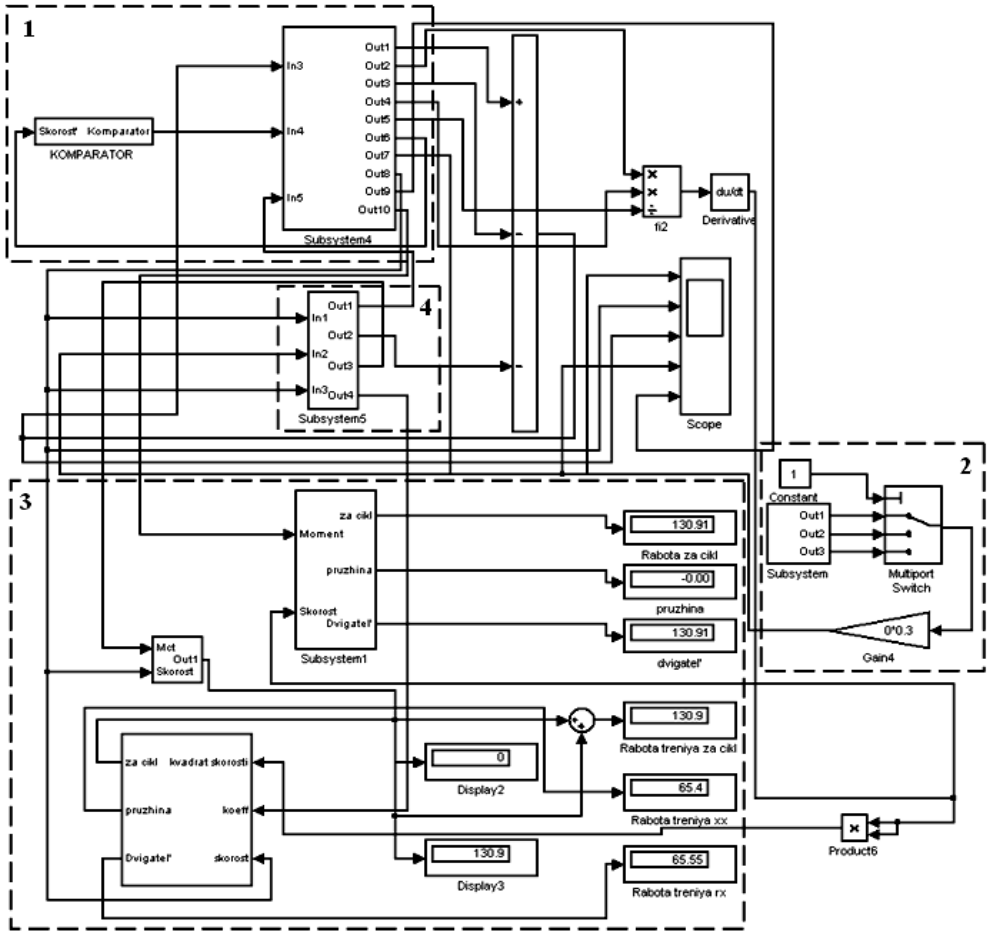
1. На имитационной модели задаются динамические параметры ДУБС, момент эквивалентного вязкого трения и начальная амплитуда колебаний.

2. Сравнивается значение работы, совершаемой буровой коронкой за период колебаний с расчетным (см.таблицу).

Расчетные и моделируемые параметры ДУБС

Параметр	Расчетные значения (симметричный режим)	Значения при моделировании (несимметричный режим)
Электромагнитный момент, Нм	–	198,5
Коэффициент эквивалентного вязкого трения	1,127	1,255
Работа, совершаемая буровой коронкой за цикл, Дж	133,3	130,9

3. По полученным и расчетным значениям работ, совершаемых буровой коронкой за период, вычисляется поправочный коэффициент



Имитационная модель ДУБС с несимметричными колебаниями буровой коронки

$$h = \frac{W_{\Sigma РАСЧ}}{W_{\Sigma МОД}} = \frac{133{,}3}{119{,}5} = 1{,}12 .$$

4. Расчетное значение работы, совершаемое буровой коронкой за период, с учетом поправочного коэффициента

$$W_{\Sigma РАСЧ2} = W_{\Sigma РАСЧ} h = 133{,}3 \cdot 1{,}12 = 149{,}3 \text{ Дж}.$$

5. Для $W_{\Sigma РАСЧ2}$ производится перерасчет момента эквивалентного вязкого трения [5]

$$\eta_{\Sigma 2} = \frac{W_{\Sigma РАСЧ2}}{\pi \varphi_2^2 \Omega_0} = \frac{149{,}3}{3{,}14 \cdot 0{,}447^2 \cdot 188{,}5} = 1{,}262 .$$

6. Полученное на модели значение работы $W_{\Sigma МОД2}$, совершенной буровой коронкой за период колебаний, в первом приближении соответствует расчетному (см.таблицу).

Выводы

1. Получены математическая и имитационная модели авторезонансного электропривода с несимметричным возбуждением динамически уравновешенного бурового снаряда.

2. Устойчивый режим несимметричных колебаний на резонансной частоте электромеханической системы обеспечивается подачей при нулевой скорости буровой коронки напряжения на обмотки электродвигателя один раз в период длительностью, равной половине периода.

3. Погрешность оценок совершаемой буровой коронкой за период колебаний работы, вычисленных на имитационной модели, не превышает 1,8 %.

4. Погрешность оценки скорости вращения ДУБС вокруг своей оси при работе в несимметричном режиме, не превышает 0,8 %.

ЛИТЕРАТУРА

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

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

3. *Стародед С.С.* Авторезонансный электропривод возвратно-вращательного движения динамически уравновешенного бурового снаряда на грузонесущем кабеле: Автореф. дис… канд. техн. наук. СПГГИ. СПб, 2009.

4. *Стародед С.С.* 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.

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

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

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

3. *Staroded S.S.* Autoresonant electric drive with swinging movement of a dynamically counter balanced drill on cargo-carrying cable. Thesis ... PhD. Saint Petersburg, 2009.

4. *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, P. 105-108.

5. *Timoshenko S.P.* Oscillations in engineering. Moscow, 1967.

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.