УДК 621.398

Э.А.ЗАГРИВНЫЙ, *д-р техн. наук, профессор, zagrivniy@yandex.ru*
В.В.ИВАНИК, *аспирант, ivanik@oku.com.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

E.A.ZAGRIVNY, *Dr. in eng. sc., professor, zagrivniy@yandex.ru*
V.V.IVANIK, *post-graduate student, ivanik@oku.com.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

СТАБИЛИЗАЦИЯ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ АВТОРЕЗОНАНСНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИ УРАВНОВЕШЕННОГО БУРОВОГО СНАРЯДА НА ГРУЗОНЕСУЩЕМ КАБЕЛЕ

Разработан алгоритм стабилизации амплитуды резонансных колебаний динамически уравновешенного бурового снаряда на грузонесущем кабеле с асинхронным электроприводом возвратно-вращательного движения. Проведено имитационное моделирование резонансного асинхронного электропривода возвратно-вращательного движения с преобразователем частоты в различных режимах работы.

Ключевые слова: буровой снаряд, авторезонанс, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, моделирование.

THE AUTORESONANT ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE OF DYNAMICALLY COUNTERBALANCED DRILLING STRING ON CARRYING CABLE WITH SWINGING MOVEMENT FLUCTUATIONS AMPLITUDE STABILIZATION

The algorithm of resonant fluctuations amplitude stabilization of dynamically counterbalanced drilling string on carrying cable with swinging movement of jackbit is developed. Imitating modeling of the resonant asynchronous electric drive with swinging movement of jackbit with the frequency converter in various operating modes is resulted.

Key words: drilling string, autoresonance, asynchronous motor, frequency converter, modeling.

Отличительной особенностью динамически уравновешенного бурового снаряда (ДУБС) возвратно-вращательного движения (ВВД) [4] на грузонесущем кабеле от снарядов вращательного движения [1] является отсутствие редуктора и распорного устройства для компенсации реактивного момента на буровой коронке. При работе на резонансной частоте электромеханической системы амплитуды колебаний имеют максимальные значения, а сумма моментов вращения, действующих на эти части, равна нулю, т.е. буровой снаряд является динамически уравновешенным (рис.1) [4].

Математическое описание электромеханической системы ДУБС представлено в [2] и имеет вид

$$\begin{cases} J_1\varphi'' - c(\varphi_2 - \varphi_1) = -M + M_{\text{жт1}}; \\ J_2\varphi'' - c(\varphi_2 - \varphi_1) = M - M_{\text{С}}, \end{cases} \quad (1)$$

где – M – электромагнитный момент короткозамкнутого асинхронного двигателя, Нм; $M_{\text{у}}$ – момент упругого элемента, Н·м; $M_{\text{ЖТ1}}$ – момент жидкостного сопротивления на верхней части снаряда, Н·м; $M_{\text{С}}$ – суммарный момент сопротивления на нижней части снаряда, Н·м; φ_1 – угол поворота верхней

части бурового снаряда, рад; φ_2 – угол поворота нижней части бурового снаряда, рад; J_1 – момент инерции верхней части бурового снаряда, кг·м^2; J_2 – момент инерции нижней части бурового снаряда, кг·м^2; с – коэффициент жесткости торсиона, Н·м/рад.

Применение асинхронного электропривода с преобразователем частоты для привода ДУБС позволяет получать различные амплитуды колебаний, а также реализовать режимы сложного движения буровой коронки(колебания с вращением). Алгоритмы управления работой ДУБС реализуются на микроконтроллере, который формирует команды для преобразователя частоты.

Созданы имитационные модели ДУБС на базе АД и ПЧ с алгоритмом прямого управления моментом [4], а также ПЧ с векторной системой управления в программе Matlab Simulink (рис.2).

Представленная имитационная модель позволяет исследовать динамические процессы в электромеханической системе ДУБС с ПЧ в следующих режимах работы:

1. Колебательный режим с разомкнутой системой управления, т.е. с ручным заданием частоты и амплитуды колебаний.

2. Колебательный режим с замкнутой системой управления с автоматическим определением резонансной частоты и вручную задаваемой амплитудой колебаний.

3. Колебательный режим с замкнутой системой управления с автоматическим определением резонансной частоты и автоматической стабилизацией амплитуды.

4. Режимы работы при различных нагрузках на буровой коронке бурового снаряда, которые могут быть представлены сухим, вязким трениями или их комбинацией.

При работе снаряда на забое значение амплитуды колебаний зависимость от динамических параметров электромеханической системы ДУБС, момента сопротивления на буровой коронке и электромагнитного момента асинхронного двигателя.

Для повышения эффективности в различных условиях работы при заданных технологических параметрах одной из главных

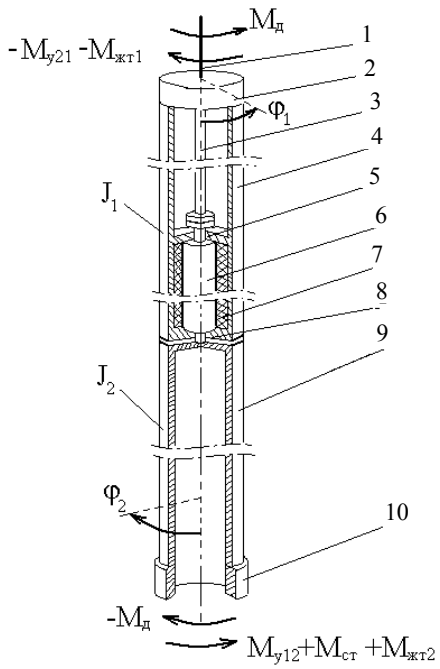


Рис. 1. Динамически уравновешенный буровой снаряд. Конструктивная (расчетная) схема

1 – грузонесущий кабель; 2 – кабельный замок; 3 – упругий элемент (торсион); 4 – статорная (подвижная) часть; 5 – подшипниковый узел; 6 – ротор электродвигателя; 7 – статор электродвигателя; 8 – подшипниковый узел; 9 – колонковая труба; 10 – буровая коронка

задач является задача стабилизации амплитуды колебаний буровой коронки во всех режимах, включая холостой ход.

Применение ПЧ для привода ДУБС позволяет решить задачу стабилизации амплитуды программно, т.е. в виде определенного алгоритма записанного в контроллер, который управляет преобразователем частоты.

Установлено, что для обеспечения заданной амплитуды необходимо и достаточно раз в полупериод формировать величину задания по электромагнитному моменту соответственно измеренной амплитуды скорости роторной части ДУБС в момент, когда ротор находится в положении φ' равна нулю. Для формирования задания по амплитуде электромагнитного момента может быть применен классический пропорциональный ипи пропорционально-интегральный регулятор.

В имитационной модели режим авторезонансных колебаний реализуется путем включения обратной связи по угловой скорости, сигнал которой поступает на блок управления, формирующий задание электромагнитного момента для преобразователя

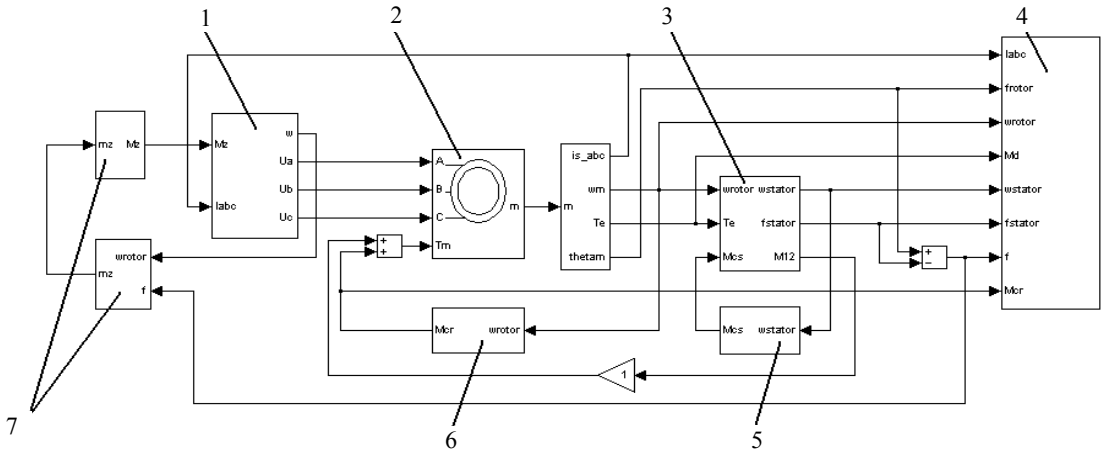


Рис.2. Блок-схема имитационной модели ДУБС

1 – блок моделирования системы управления электроприводом с алгоритмом прямого управления моментом; 2 – блок моделирования асинхронного электродвигателя; 3 – блок моделирования механической системы ДУБС; 4 – прибор для отображения динамических параметров бурового снаряда; 5 – блок моделирования момента сопротивления статорной части снаряда; 6 – блок моделирования момента сопротивления роторной части снаряда; 7 – блоки формирования задания для системы управления электроприводом

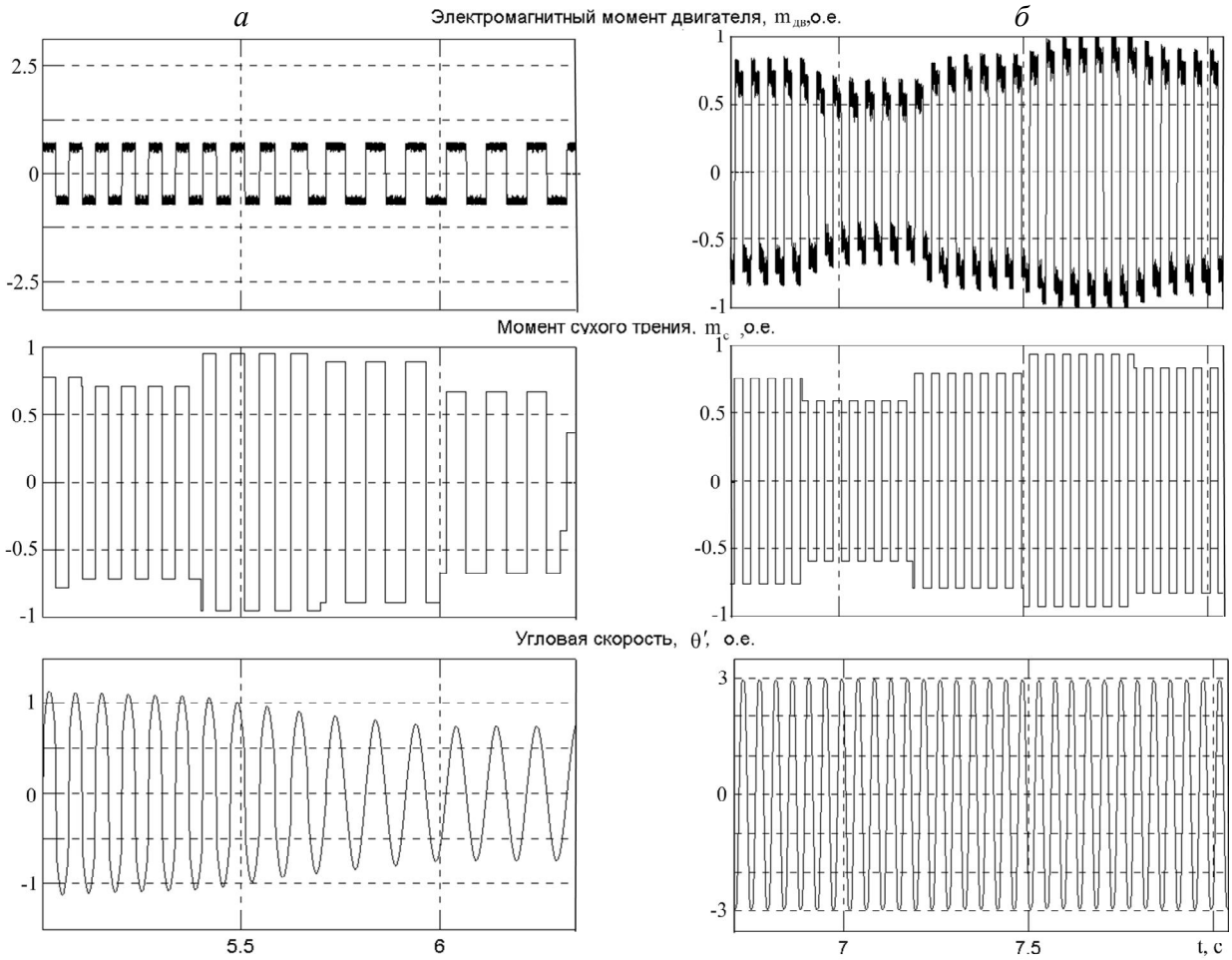


Рис.3. Работа системы в режиме автоколебаний на собственной частоте при замкнутой системе: *а* – без контура стабилизации амплитуды; *б* – с контуром стабилизации амплитуды на значении 3 о.е.

$\theta' = \varphi'/\varphi'_{max}$, φ'_{max}=100 рад/с; $m_{дв} = M_{дв}/M_{ном}$; $m_{ст} = M_c/M_{ном}$; $M_{ном}$= 70 Н·м , при J_1=1.2 кг·м^2, J_2=0.12 кгм^2, c=430 Н·м/рад

частоты. Активация обратной связи происходит автоматически, однако при необходимости любой контур управления может быть выведен и введен в работу в любой момент времени, в т. ч. и в программно заданные временные точки.

На рис.3, *а* представлены осциллограммы расчетов модели при выключенном контуре стабилизации амплитуды. Заметно изменение амплитуды угловой скорости в зависимости от момента сухого трения при неизменном электромагнитным моментом двигателя, что влечет к снижению эффективности работы электромеханической системы. На осциллограммах на рис.3, *б* наблюдается изменение электромагнитного момента соответственно нагрузке, представленной в виде момента сухого трения. В таком режиме двигателем из сети потребляется столько энергии, сколько необходимо для совершения полезной работы.

Выводы

1. Разработанные алгоритм и закон управления автоколебаниями ЭМС динамически уравновешенного бурового снаряда обеспечивают устойчивую работу во всех режимах автоколебаний на резонансной частоте, включая холостой ход.

2. Управление амплитудой угла поворота роторной части снаряда достигает ся путем вычисления рассогласования между текущим и заданным значениями и формирования соответственно ему амплитуды электромагнитного момента двигателя.

3. Решена задача стабилизации амплитуды колебаний буровой коронки авторезонансного асинхронного электропривода возвратно-вращательного движения во всех режимах, включая холостой ход.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. *Загривный Э.А.* Авторезонансный асинхронный электропривод возвратно-вращательного движения динамически уравновешенного бурового снаряда на грузонесущем кабеле // Народное хозяйство Республики Коми. Т.18. № 1. 2009.

3. *Иваник В.В.* Моделирование резонансного асинхронного электропривода возвратно-вращательного движения с алгоритмом прямого управления моментом // Записки Горного Института. 2009. Т.182.

4. Пат. №2337225 РФ. Электромеханический колонковый буровой снаряд / Э.А.Загривный, В.В.Рудаков, С.С.Стародед, Ю.А.Гаврилов. Опубл. 27.10.2008. Бюл. № 30.

REFERENCES

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

2. *Zagrivny E.A.*, *Ivanik V.V.* Autoresonant asynchronous electric drive of dynamically counterbalanced drilling string on carrying cable with swinging movement //The economy of the Republic of Komi. 2009. V.18. N.1

3. *Ivanik V.V.* The autoresonant asynchronous electric drive with swinging movement with algorithm of direct torque control modelling / Proceedings of the Mining Institute. Saint Petersburg. 2009. V.182.

4. Pat. № 2337225 RF. Weasel electromechanical drill / E.A.Zagrivny, V.V.Rudakov, S.S.Staroded, Yu.A.Gavrilov, Stated 12.04.2007. Publ. 27.10.2008. Bull. № 30.