УДК 621.398

С.С.СТАРОДЕД
Аспирант кафедры электротехники и электромеханики

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИ УРАВНОВЕШЕННОГО БУРОВОГО СНАРЯДА НА ГРУЗОНЕСУЩЕМ КАБЕЛЕ

Рассмотрено имитационное моделирование электромеханической колебательной системы возвратно-вращательного движения с сухим и эквивалентным вязким трениями, дана количественная оценка замены сухого трения эквивалентным вязким при работе системы на собственной частоте.

Imitating modelling electromechanical oscillatory system of bacr-rotary movement with dry and equivalent viscous frictions is considered, the quantitative estimation of replacement of dry friction equivalent viscous is given at work of system on own frequency.

Имитационное моделирование выполняется для решения следующих задач:

• оценка правомерности замены момента сопротивления сухого трения моментом эквивалентного вязкого сопротивления при определении вынужденных колебаний на собственной частоте механической колебательной системы;

• оценка результатов вычисления амплитуды вынужденных колебаний ротора электродвигателя (ЭД) на собственной частоте по полученному аналитическому выражению и моделирования процессов на имитационной модели с разомкнутой системой управления при питании ЭД от преобразователя частоты.

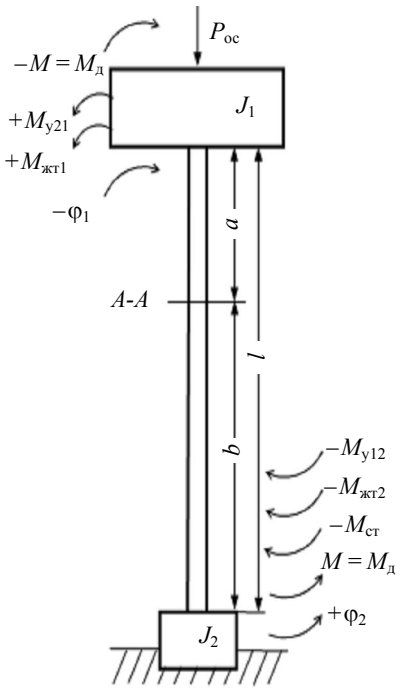


Рис.1. Расчетная модель электромеханического динамически уравновешенного колонкового бурового снаряда

Рассмотрим моделирование вынужденных колебаний в механической системе с комбинацией сухого трения с вязким трением. На расчетной модели (рис.1) упругий элемент (например, торсион) представлен невесомым валом длиной l. 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 $M_д$ масса J_2 поворачивается на угол φ_2 в противоположном направлении. Узловое сечение А-А, расположенное на расстоянии a от J_1 и b от J_2, относительно которого происходят движения верхней и нижней масс, остается неподвижным. Со стороны упругого элемента (торсиона) на массы J_1 и J_2 действуют упругие моменты $M_{y12} = M_{y21}$, кото-

рые 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_c, который в расчете представлен аддитивной комбинацией моментов вязкого $M_{жт2}$ и сухого $M_{ст}$ трений.

Рассматриваемая электромеханическая колебательная система описывается уравнением

$$\varphi'' + \mu_1\varphi' + \grave{I}_{\tilde{n}\grave{o}}\mathrm{sign}(\varphi) + \Omega_0^2\varphi = M_{\ddot{a}}\sin\Omega_0 t\,, \quad (1)$$

где $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$, φ', φ'' – полный угол поворота упругого элемента, скорость и ускорение точки системы, рад, рад/с, рад/с^2, соответственно; φ_1, φ_2 – угол поворота статорной и роторной части с буровой коронкой соответственно; $M_{\tilde{n}\grave{o}}$ – момент сухого трения на буровой коронке, Н·м; $\grave{I}_{\ddot{a}}$ – возмущающий момент, Н·м; Ω_0 – собственная частота системы, 1/с; μ_1 – эквивалентный коэффициент вязкого трения колонковой трубы, статорной части и буровой коронки, Н·мс/рад.

Амплитуда колебаний на собственной частоте в линейных системах с сухим трением при условии $(M_{\tilde{n}\grave{o}}/M_{\ddot{a}}) < (\pi/4)$ стремится к бесконечности. Известно также, что при комбинации сухого трения с вязким эквивалентный коэффициент вязкого трения определяется выражением

$$\mu = \frac{4M_{\tilde{n}\grave{o}}}{\pi\grave{A}\Omega_0} + \mu_1\,, \quad (2)$$

а амплитуда колебаний в этом случае оказывается ограничена.

Блок-схемы имитационных моделей электромеханических колебательных систем возвратно вращательного движением с сухим и вязким, эквивалентным вязким трениями выполнены в программе MatLAB, пакет SimuLink (рис.2, 3).

При моделировании принимались значения параметров системы, указанные в таблице.

Следует заметить, что имеется точное решение для определения амплитуды вынужденных колебаний на собственной частоте системы с комбинацией сухого трения с вязким. Однако это решение громоздко и неудобно для практического использования. Современные вычислительные средства позволяют получить приближенное значение эквивалентного коэффициента вязкого трения для любых более сложных комбинаций моментов сопротивления, не имеющих аналитического решения, следующим образом:

1. На имитационной модели (рис.2) задаются расчетное значение момента сухого трения и сравнительно небольшое значение коэффициента вязкого трения μ_1 ($M_{жт} = (0{,}05 - 0{,}1)M_{ст}$).

2. Изменяя возмущающее воздействие $M_д$ (рис.4), получают заданное (расчетное) значение амплитуды резонансных колебаний (рис.5, 6).

Параметры и результаты моделирования

Параметр	Обозначение	Сухое и вязкое трения	Эквивалентное вязкое трение
Амплитудное значение момента двигателя, Н·м	$M_д$	124	124
Момент сухого трения, Н·м	$M_{ст}$	97,1	0
Амплитудное значение момента вязкого трения, Н·м	$M_{жт}$	4,58	
Коэффициент вязкого трения, Н·мс/рад	μ_1	0,2	0
Эквивалентный коэффициент вязкого трения, Н·мс/рад	μ	0	2,62
Амплитуда колебаний системы, рад	A	0,558	0,555
Собственная частота системы ($2\pi f = \Omega$), 1/с	Ω	85,3	85,3

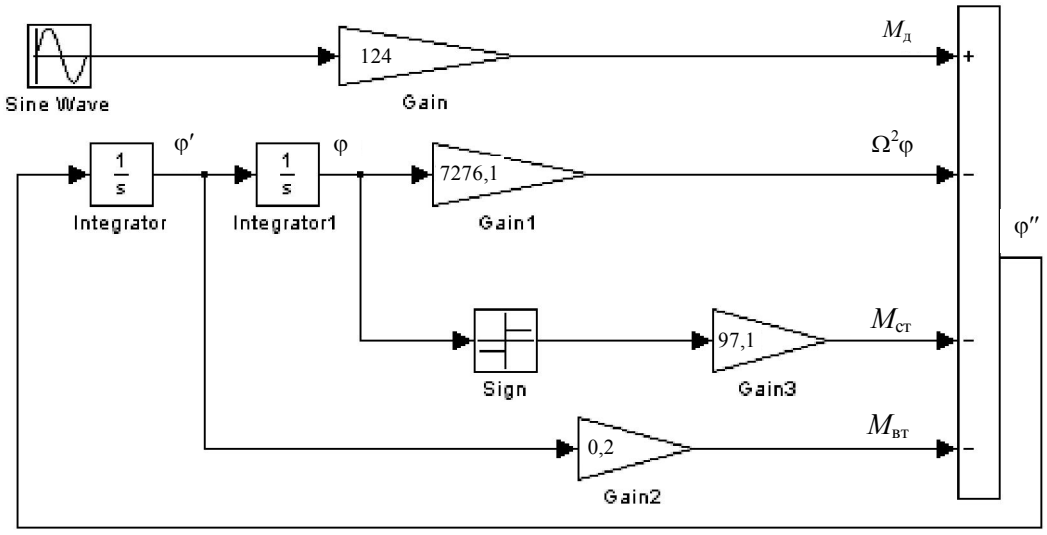


Рис.2. Имитационная модель колебательной системы с сухим и вязким трениями

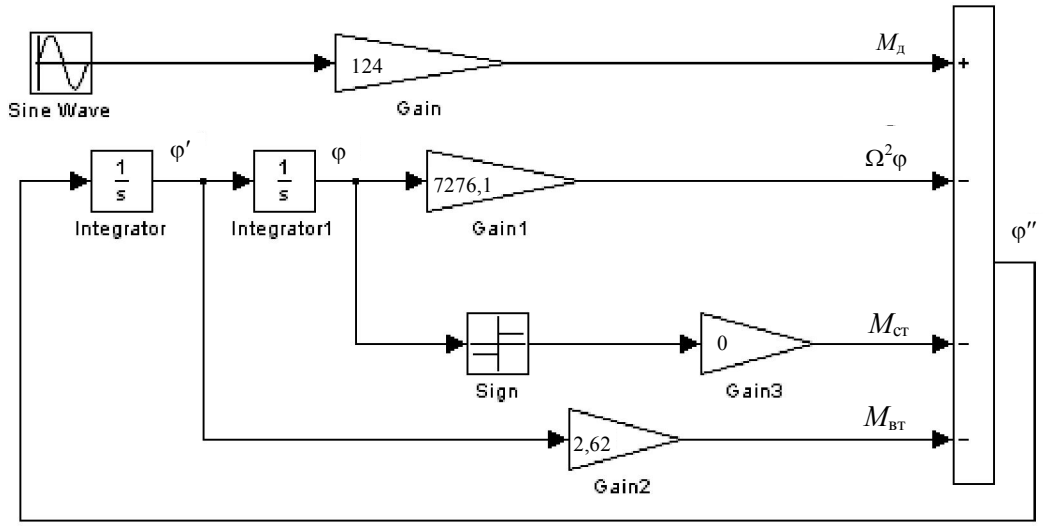


Рис.3. Имитационная модель колебательной системы с эквивалентным вязким трением

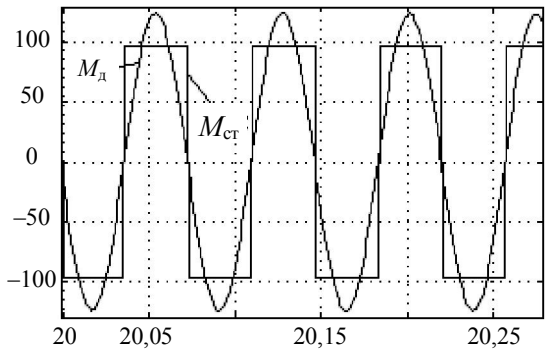


Рис.4. Осциллограммы момента двигателя $M_д$
и сухого трения $M_{ст}$

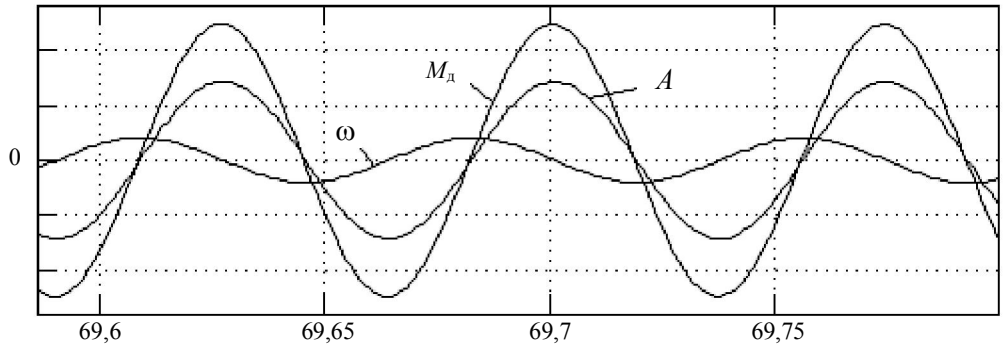


Рис.5. Осциллограммы момента двигателя $M_д$ (124 Н·м), скорости колебаний ω (22,9 рад/с) и амплитуды колебаний A (0,558 рад) при колебаниях с сухим трением

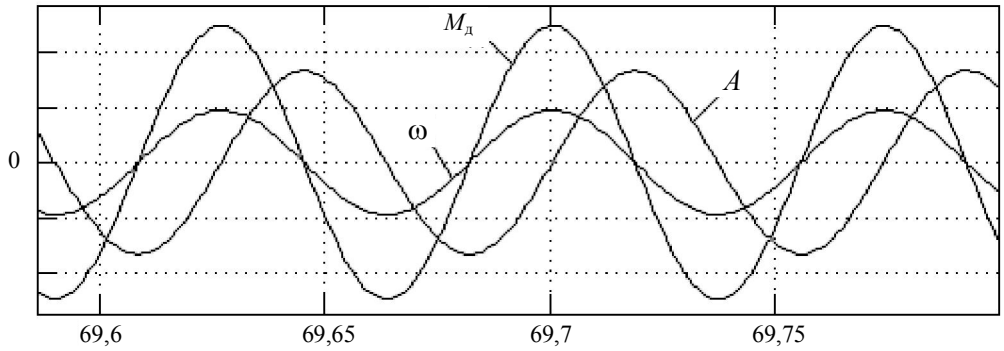


Рис.6. Осциллограммы момента двигателя $M_д$ (124 Н·м), скорости колебаний ω (47,2 рад/с) и амплитуды колебаний A (0,555 рад) при колебаниях с эквивалентным вязким трением

3. Вычисляют коэффициент эквивалентного вязкого трения

$$\mu = \frac{4M_{\text{ñò}}}{\pi A\Omega_0} = \frac{4 \cdot 97{,}1}{3{,}14 \cdot 0{,}599 \cdot 85{,}3} = 2{,}42. \quad (3)$$

4. На имитационной модели (см. рис.3) устанавливают значения $M_{ст} = 0$ и $\mu_{\text{ýêâ}} = \mu + \mu_1 = 0{,}2 + 2{,}42 = 2{,}62$ Н·мс/рад.

5. При сравнении амплитуды колебаний при сухом и вязком трении установлено (см. рис.2 и 3), что разность вычислений амплитуды колебаний не превышает 1 % от величины, полученной аналитическим путем. Поэтому применение указанной замены при анализе электромеханических колебательных систем с сухим трением можно считать правомерной. В рассматриваемом случае разность вычислений амплитуды составляет

$$\Delta\varphi = \frac{0{,}558 - 0{,}555}{0{,}558} = 0{,}005\ \%. \quad (4)$$

Следует отметить, что разработанная имитационная модель электромеханической колебательной системы возвратно-вращательного движения может быть использована при исследовании процессов с различными видами нагрузок, с разомкнутой и замкнутой системами управления. Использование положительных обратных связей позволяет получать устойчивое автоколебательное движение на собственной частоте, обеспечивая режим минимального энергопотребления.

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