

Расширение возможностей практического применения колебательных электромеханических систем в динамических режимах

Степанов Дмитрий Романович

*Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых
Студент*

Коровушкин Антон Андреевич

*Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых
Студент*

Аннотация

Статья посвящена расширению возможностей практического применения колебательных электромеханических систем, в частности в трибологии, в динамических режимах. С помощью теоретико-экспериментального метода был выбран метод расчета момента сопротивления M_c , были рассчитаны зависимости момента сопротивления от механической скорости и углового ускорения.

Ключевые слова: трибология, колебательные ЭМС, ВВД

Expanding the possibilities of practical application of oscillating electromechanical systems in dynamic modes

Stepanov Dmitry Romanovich

*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletov
Student*

Korovushkin Anton Andreevich

*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletov
Student*

Abstract

The article is devoted to the expansion of the possibilities of practical application of oscillatory electromechanical systems, in particular in tribology, in dynamic regimes. Using the theoretical-experimental method, the method of calculating the moment of resistance M_c was chosen, and from time to time it was calculated from the mechanical speed and angular acceleration.

Keywords: tribology, electromechanical systems, reciprocating rotary motion

Как известно, основными показателями трибологических характеристик являются: момент сопротивления движения M_c , коэффициент трения, износ. Качественно сам процесс трения характеризуется различными

явлениями: термоэлектронным, акустическим, термическим, химическим, электрическим, магнитным и т.д.

Среди них наиболее неопределенной, случайной составляющей фундаментального закона движения Д'Аламбер, интерпретируемого в наиболее общей и широко используемой форме уравнения является M_c .

$$M - M_c = M_j, \quad (1)$$

где M_j и M – динамический и движущий моменты.

Согласно литературным источникам значение M_c зависит от сотни и более факторов, и поэтому точность расчетов по уравнению (1) даже в применении его к статическим и квазистатическим режимам во многом зависит от адекватного представления M_c в уравнении (1). Несомненно, еще больших трудностей в исследованиях, расчетах и получении соответствующих рекомендаций возникают в динамических режимах работы систем, когда необходимо достаточно адекватное представление механической подсистемы в структуре всей системы электропривода и ее использовании на модели.

На это еще указывал Крагельский И. В. в [1], где определено и указательно отмечено, что до сих пор нет даже удовлетворительной теории кинетического трения. С физической точки зрения M_c является интегральным параметром диссипативных сил при любом «законе движения», характеризующим триботехнические характеристики элементов как составляющих, так и самих электроприводов, и приводов в целом.

Так, в работе В. В. Титова [2], с сожалением констатируется, что в авиации для самолетов гражданского назначения действуют требования авиационных правил и норм 1954, 1958, 1996 годов и т.д. Такое разнообразие норм и их различие свидетельствуют об отсутствии единого подхода, что на практике приводит к ошибочным решениям и отказам. Кроме того, действующие нормы не подтверждаются результатами испытаний.

Так, при конструировании узлов механических сопряжений, сила трения, как дополнительный нагружающий (разрушающий) фактор неоправданно игнорируется. И по четвертой теории прочности увеличение эквивалентных напряжений от сил трения составляет $1,5\% \pm 6\%$.

Но по результатам испытаний эквивалентного напряжения на контакте (в частности, подшипника скольжения для бронз БрАЖМЦ 10-3-1,5 и 10-4-4) даже со смазочными материалами Атланта, Эра, Свинцоль-01 определяются совершенно другими соотношениями и что вклад сил трения в деформирование втулки подшипника в 33-410 раз больше, чем при расчете по четвертой теории прочности.

Вывод один, на что и указывает сам автор: «Весь спектр сложных трибологических процессов, происходящих на рабочих поверхностях тяжелонагрузочных трибосопряжений летательных аппаратов, может быть воспроизведен только в условиях реального, полноразмерного подшипника или узла при стендовых испытаниях.»

Следуя этим указаниям и рекомендациям, естественно и востребовано возникли следующие задачи:

- выбрать метод расчета M_C , делая упор на динамический режим (кинетическое трение);
- подтвердить экспериментом справедливость этой методики и соответственно достоверность расчета M_C ;
- дать рекомендации по дальнейшему совершенствованию, развитию этой методики, а также технических средств экспериментальной проверки;

Что касается решения первых двух задач, то они были выполнены с использованием теоретико-экспериментального метода и макетного образца, функциональная схема которого представлена на рисунке 1.

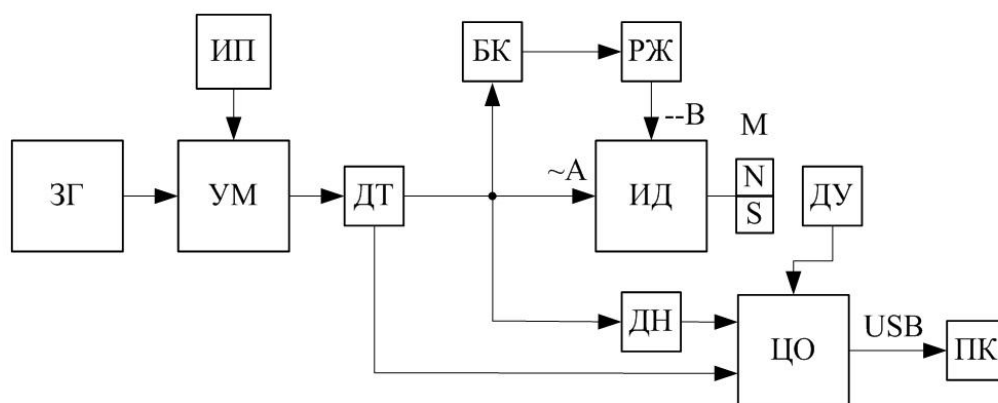


Рисунок 1 – Принципиальная схема макетного образца

Условные обозначения: ЗГ – задающий генератор; УМ – усилитель мощности; ДТ – датчик тока; ДН – датчик напряжения; ИД – исполнительный двигатель; М – магнит; ДУ – датчик угла; ЦО – цифровой осциллограф; ИП – источник питания; БК – блок коррекции; РЖ – регулятор жесткости

С помощью данного макета были проведены эксперименты для подшипниковых опор двигателя И6615-2 при различных начальных условиях: частотах, амплитудах колебаний, управляющих напряжений по каналу регулируемого источника переменного тока (усилителя мощности) и каналу регулятора жесткости.

По полученным опытным данным (электрическим и механическим переменным этой системы электропривода) и разработанной теоретико-экспериментальной методике, основанной на обработке информации по электрическим и механическим динамическим параметрам и их фазовых соотношениях, были рассчитаны динамические триботехнические характеристики подшипников узла двигателя И6615-2, представленных на рисунке 2.

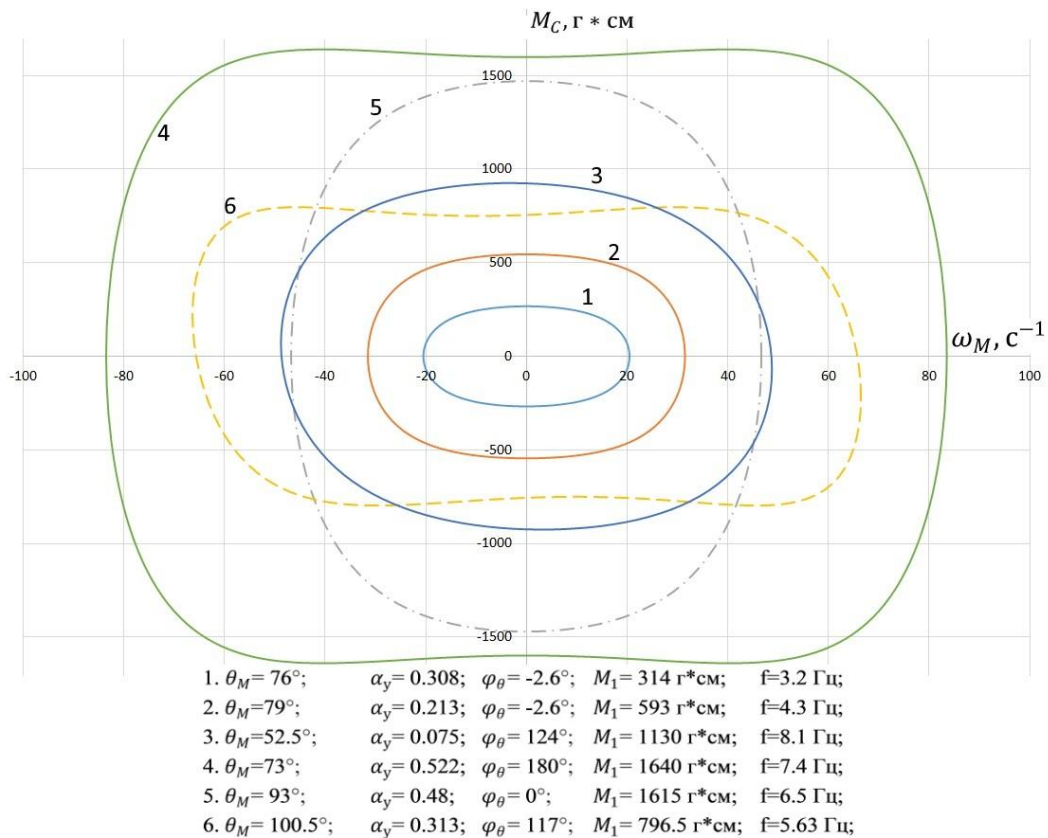


Рисунок 2 - Динамические триботехнические характеристики подшипников узла двигателя И6615-2

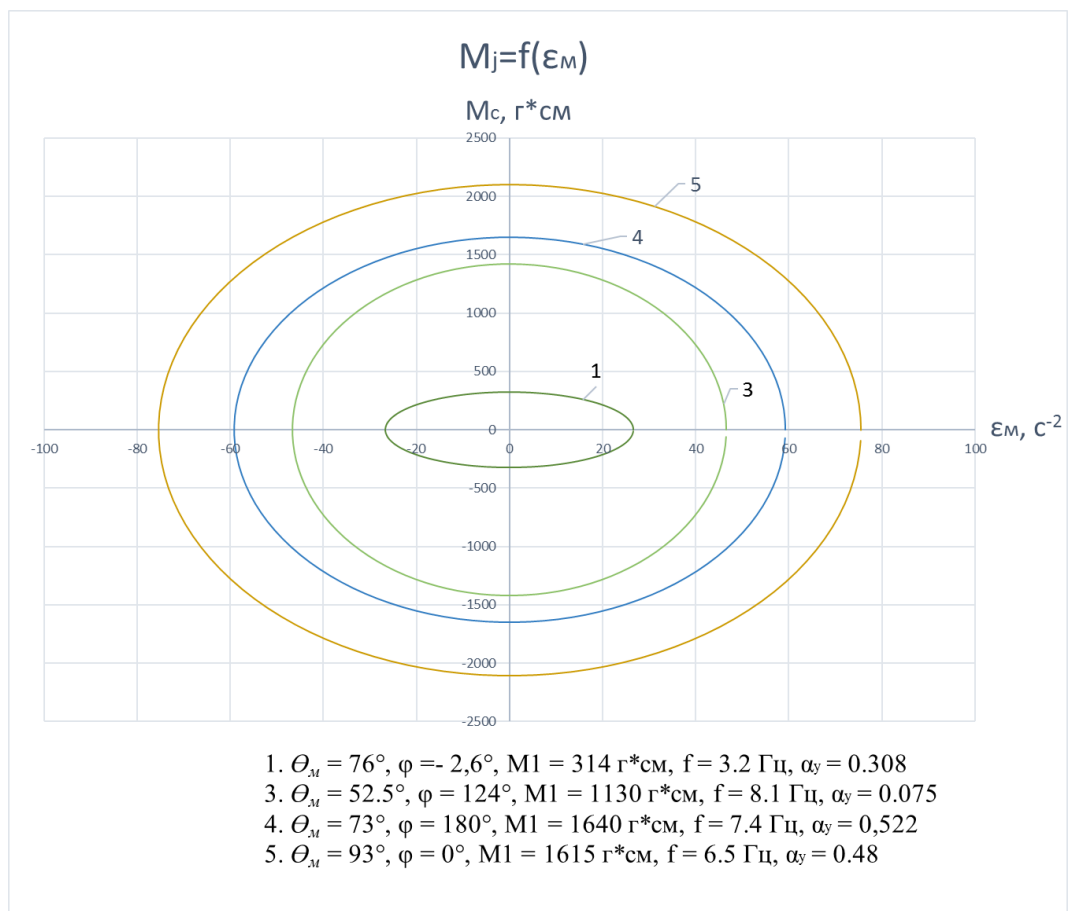


Рисунок 3 - Динамические триботехнические характеристики подшипников узла двигателя И6615-2

Анализ этих зависимостей показывает, что M_C в динамике зависит не только от механической скорости ω_M (рисунок 2), но и от углового ускорения E_M (рисунок 3). Т.е. трибохарактеристики подвижных механических сопряжений и в частности показатель M_C существенно отличаются от известных статических, а их количественная оценка зависит от начальных условий, характера нагрузки, корректности эксперимента и совершенства методики обработки полученной опытной информации, что вполне достижимо при дальнейшем научном, творческом продолжении этой работы.

Для сокращения трудоемкости вычислений и построений зависимости трения была разработана программа автоматизированного расчета M_C в динамике для различных начальных условий, соответствующих многим требованиям по параметрам колебаний и величины мощности в нагрузке.

```
q = 76; a = 0.308; fi = -2.6; m = 314; f = 3.2;

wt = 0:3:360;

qq = q/180*pi;
aa = a*180/pi;
fifi = fi/180*pi;

tetta = atan(qq*sin(fifi)/(a-qq*cos(fifi)))*180/pi-90+fi;
alpha = sqrt(aa^2+q^2-2*aa*q*cos(fifi))/180*pi;

K = m*sin(alpha);
B = (90+tetta)/180*pi;

ALPHA = atan(K*sin(B)/(K*cos(B)-m*sin(qq)))*180/pi;
A = sqrt((K*cos(B)-m*sin(qq))^2+K^2*sin(B)^2);
Mc = A*sin((wt+ALPHA)/180*pi);
Wm = cos(wt/180*pi)*2*pi*f*qq;

plot(Wm, Mc);
grid on;
```

Значения q , a , fi , m и f вводятся вручную пользователем:

q – амплитуда колебаний (в градусах);

a – эффективный коэффициент сигнала управления;

fi – фаза сигнала управления относительно положения равновесия (в градусах);

M – амплитуда электромагнитного момента ($\Gamma \cdot \text{см}$);

f – частота (в герцах).

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показывает, что характеристики трения существенно зависят от частоты,

амплитуды, гармонического воздействия и в итоге от скорости и ускорения. Особенно это проявляется в области параметрического электромеханического резонанса. Поэтому для уточнения математического описания явления трения и разработки более адекватных моделей различных систем приводов необходимы дальнейшие исследования и совершенствования ИД трибоустановки.

Библиографический список

1. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн.: Кн. 1 под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. М.: Машиностроение, 1978. 400 с.
2. Титов В. В. Проблемы расчета, проектирования и испытаний трибосопряжения летательных аппаратов ОКБ «СУХОГО». 2017