

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ

Плохов И.В., Ильин А.В., Козырева О.И. (ПсковГУ, г. Псков, Россия)
Тел.: +7 (8112) 724037; E-mail: igor_plohov@list.ru

Abstract: *Developed a dynamic model of a sliding contact with three degrees of freedom and distributed nonlinear parameters of the contact layer. The calculated characteristics.*

Key words: *tribology, sliding electrical contact, sliding knot current collection.*

Узлы скользящего токосъема (УСТ) электрических машин в процессе своей работы подвергаются внутренним и внешним механическим воздействиям, которые обусловлены неровностями и эксцентриситетом контактной поверхности, дисбалансом вращающихся деталей, вибрацией подшипниковых узлов, динамическими возмущениями, сообщаемыми электрической машине внешними объектами. Возникающие при этом нарушения скользящего контакта (СК) приводят к ухудшению качества токопередачи, повышенному искрению, ускоренному износу контактирующих поверхностей.

Особое внимание при разработке новых контактных пар уделяется имитационному компьютерному моделированию, преследующему цель получения интегральных характеристик УСТ по параметрам элементов СК и внешних воздействий. Подобный подход позволяет существенно снизить долю дорогостоящих практических экспериментов при исследовании характеристик различных контактных пар [1-6].

Стабильность контактирования оценивают коэффициентом относительной неустойчивости (КОН).

$$K = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \Delta \tau_i, \quad (1)$$

где T – время измерения; n – количество нарушений контакта за период T .

Колебательную систему УСТ представляют, как правило, в виде одно- или двухмассовой динамической системы с удерживающими механическими связями без учета их диссипативных свойств. По динамическим моделям составляют дифференциальные уравнения движения сосредоточенных масс. Для более полного исследования динамики СК необходим переход к более сложному описанию, использующему распределённые параметры и неудерживающие связи.

На рис. 1 изображена динамическая модель СК [1]. Щетка массой $m_{щ}$ может совершать радиальные колебания $Y(t)$ вдоль оси Y , тангенциальные $X(t)$ вдоль оси X и поворотные $\varphi(t)$ по углу φ . Тело щетки считаем абсолютно жестким, а массу – распределенной равномерно. Центр масс щетки находится в точке A , которая в динамике перемещается относительно неподвижной системы координат XOY . Для аксиальных колебаний структура динамической модели аналогична.

Нажимная пружина с жесткостью C_p и коэффициентом демпфирования K_p воздействует на щетку с усилием F_n , которое может быть приложено под углом α на расстоянии L_p по отношению к радиальной оси щетки. Область контакта «щетка – токосъёмник» (контактный слой) представлена распределенной системой граничных элементов (ГЭ), каждый из которых задан реологической моделью Кельвина-Фохта в радиальном направлении и моделью Кулона-Амонтона – в тангенциальном. Параметры данных моделей: $СК_i$ – контактная жесткость i -го ГЭ; $КК_i$ – коэффициент контактного демпфирования ГЭ; $КТК_i$ – коэффициент граничного трения ГЭ. Аналогично моделируется контактное взаимодействие с направляющими, которые заданы четырьмя

ГЭ такого же типа со следующими параметрами: C_1, \dots, C_4 , K_1, \dots, K_4 – коэффициенты жесткости и контактного демпфирования данных элементов. Механические связи ГЭ неударживающие, а щетка имеет в направляющих тангенциальный люфт Δ .

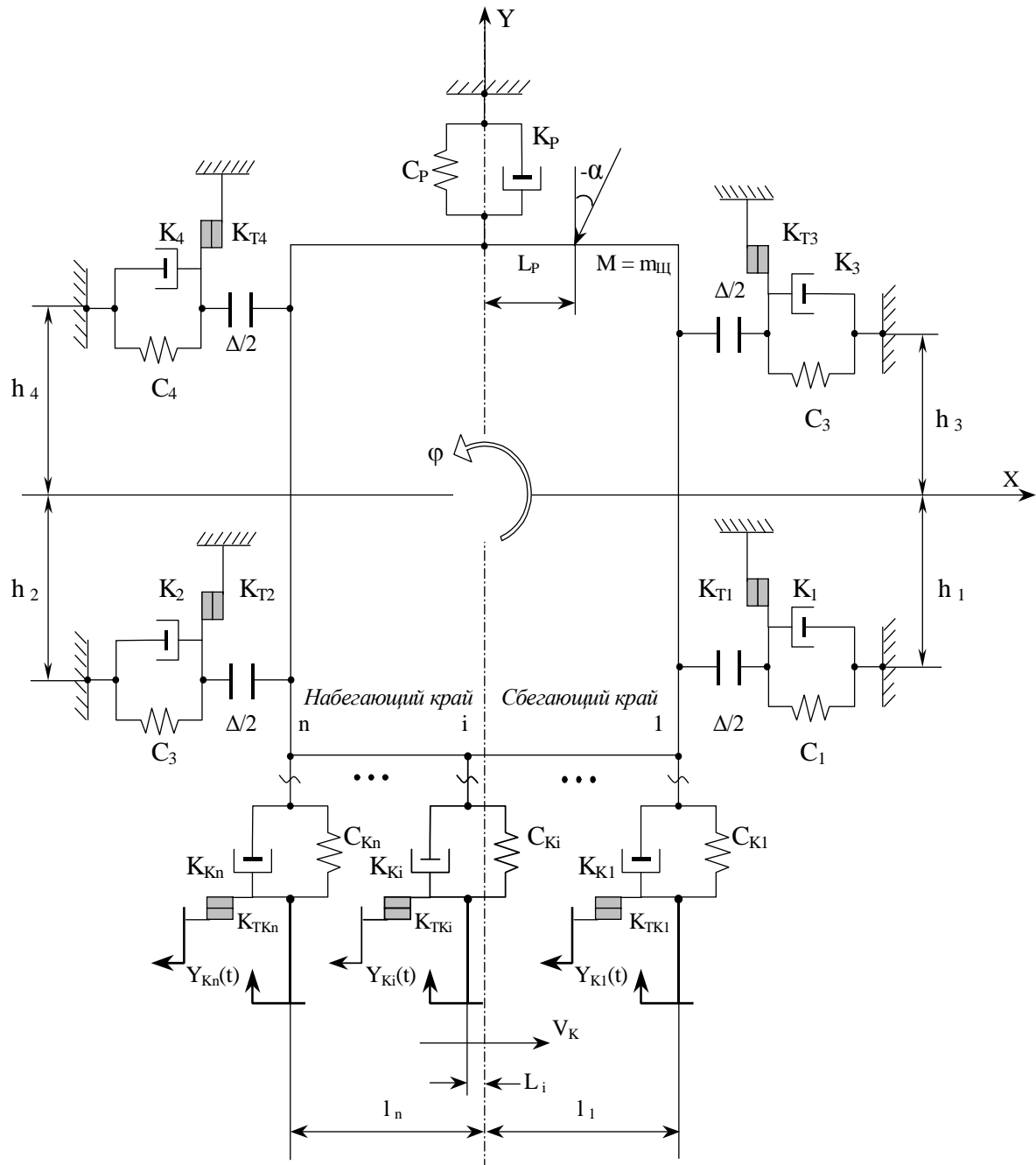


Рис. 1. Динамическая модель СК с тремя степенями свободы, неударживающими механическими связями и распределенными нелинейными параметрами контактного слоя

В соответствии с квазистатическим принципом Даламбера составим дифференциальные уравнения движения под влиянием кинематических возмущающих воздействий $Y_{K_i}(t)$.

Для координаты Y :

$$m_{ш} \frac{d^2 Y(t)}{dt^2} + \sum_{i=1}^n \left\{ C_{Ki} (\Delta Y_i) [Y(t) - Y_{Ki}(t) + l_i \varphi(t)] + K_{Ki} (C_{Ki}) \left[\frac{dY(t)}{dt} - \frac{dY_{Ki}(t)}{dt} - l_i \frac{d\varphi(t)}{dt} \right] \right\} +$$

$$+ \sum_{i=1}^4 F_{Yi}(t) + C_p Y(t) + K_p \frac{dY(t)}{dt} = -F_H(t) \cos \alpha ; \quad (1)$$

для координаты X:

$$m_{ш} \frac{d^2 X(t)}{dt^2} + \sum_{i=1}^4 \left\{ C_i (\Delta X_i) [X(t) - \varphi(t) h_i] + K_i (C_i) \left[\frac{dX(t)}{dt} - h_i \frac{d\varphi(t)}{dt} \right] \right\} =$$

$$= \sum_{i=1}^4 F_{Xi}(t) + F_H(t) \sin \alpha ; \quad (2)$$

для координаты φ :

$$J_{ш} \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} + \sum_{i=1}^n \left\{ C_{Ki} (\Delta Y_i) l_i [l_i \varphi(t) + Y(t) - Y_{Ki}(t)] + K_{Ki} (C_{Ki}) \left[l_i \frac{d\varphi(t)}{dt} - \frac{dY(t)}{dt} - \frac{dY_{Ki}(t)}{dt} \right] \right\} +$$

$$\sum_{i=1}^4 \left\{ C_i (\Delta X_i) h_i [X(t) - \varphi(t) h_i] + K_i (C_i) h_i \left[\frac{dX(t)}{dt} - \frac{d\varphi(t)}{dt} h_i \right] + F_{Yi}(t) l_i \right\} =$$

$$= -\frac{h}{2} \sum_{i=1}^4 F_{Xi}(t) - F_H(t) (L_p \cos \alpha - \frac{h}{2} \sin \alpha) , \quad (3)$$

где h – высота щетки; $Y(t)$, $X(t)$, $\varphi(t)$ – радиальное, тангенциальное и угловое перемещения щетки в заданной системе координат; l_i , h_i – плечи ГЭ контактного слоя и направляющих; F_{Yi} , F_{Xi} – силы трения в ГЭ контактного слоя и направляющих:

$$F_{Yi}(t) = \left\{ C_i (\Delta X_i) [X(t) - \varphi(t) h_i] + K_i (C_i) \left[\frac{dX(t)}{dt} - \frac{d\varphi(t)}{dt} h_i \right] \right\} K_{Ti} \text{sign} \frac{d\Delta Y_i(t)}{dt} ;$$

$$F_{Xi}(t) = \left\{ C_{Ki} (\Delta Y_i) [Y(t) - Y_{Ki}(t) + \varphi(t) l_i] + K_{Ki} (C_{Ki}) \left[\frac{dY(t)}{dt} - \frac{dY_{Ki}(t)}{dt} + \frac{d\varphi(t)}{dt} l_i \right] \right\} K_{TKi} , \quad (4)$$

где ΔY_i , ΔX_i – радиальное и тангенциальное сближение взаимодействующих участков микрорельефов в i -м ГЭ:

$$\Delta Y_i = Y(t) - Y_{Ki}(t) + l_i \varphi(t) , \quad \Delta X_i = X(t) - h_i \varphi(t) . \quad (5)$$

В соответствии с приведенными уравнениями разработана программа, позволившая изучить влияние различных факторов на трехкоординатные колебания щетки и тангенциальные распределения контактной неустойчивости, контактного давления и удельной контактной жесткости. На рис. 2 в качестве примера показаны взаимосвязанные динамические реакции на стандартные кинематические возмущения, полученные с помощью динамической модели, на рис. 3 – контактные распределения.

Выводы. Анализ характеристик, полученных при различных условиях и для разных кинематических возмущений показывает, что контактные распределения имеют нелинейный характер; при осевом приложении нажимного усилия набегаящий край контактирует более устойчиво, чем сбегающий; контактное давление выше по краям щетки, чем посередине; распределение контактной жесткости имеет форму, качественно инверсную по отношению к распределению КОН; повышения линейности распределений жесткости и КОН можно достигнуть при положительных величинах угла α и плеча L_p . Программа позволяет подбирать рациональные параметры контактных пар (материалы, размеры, усилия нажатия и др.)

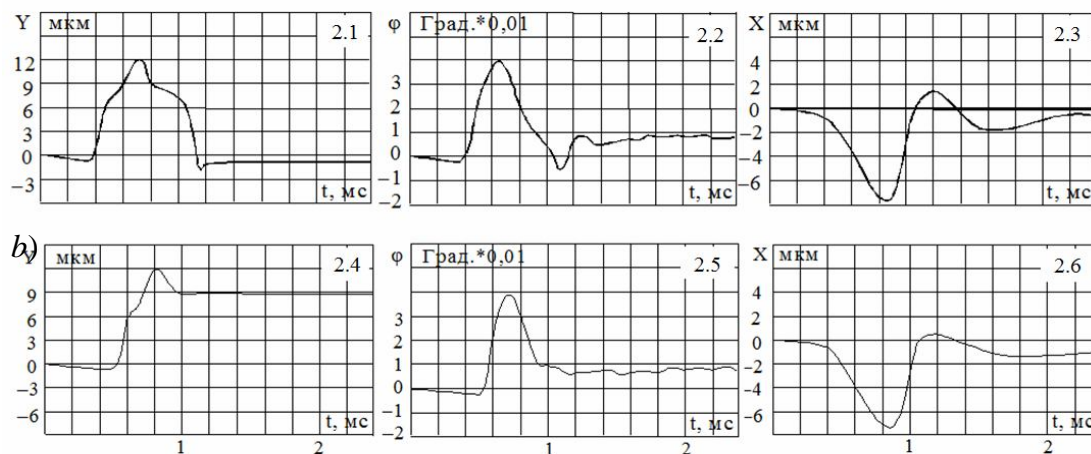


Рис. 2. Реакции на импульсное (2.1-2.3) и ступенчатое (2.4-2.6) возмущения при $\alpha=0$

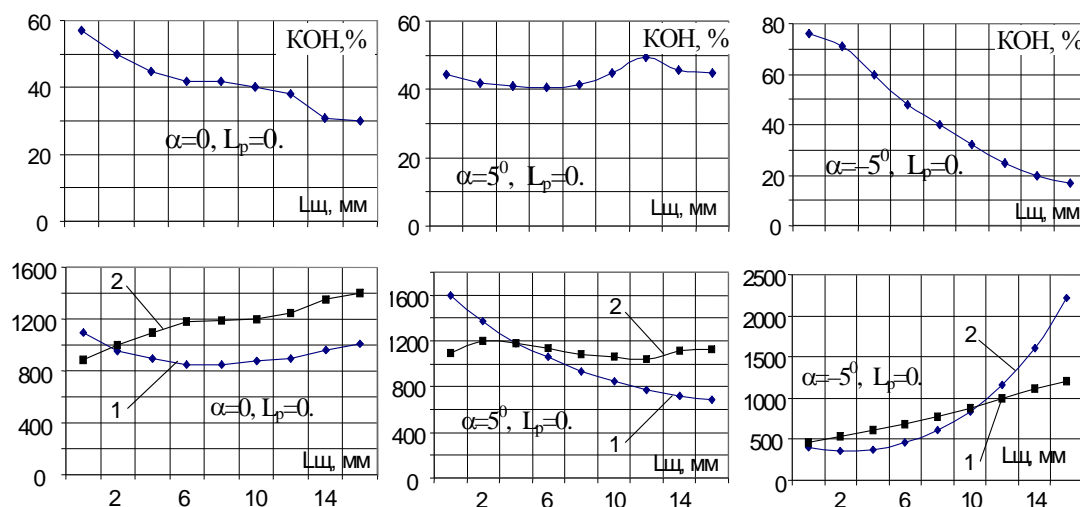


Рис. 3. Контактные распределения при различных величинах α и L_p .
1 – удельное нажатие, Н/м, 2 – удельная контактная жесткость, МН/м/м

Список литературы: 1. Плохов И. В. Комплексная диагностика и прогнозирование технического состояния узлов скользящего токосъема турбогенераторов. Диссертация доктора технических наук. – СПб: СПбГПУ, 2001. 2. Ильин А. В., Плохов И. В., Козырева О. И. Моделирование микрорельефа поверхностей контактирующих деталей. // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – №5. – С. 180–183. 3. Ильин А. В., Плохов И. В., Козырева О. И. Моделирование процессов электрофрикционного взаимодействия в узлах скользящего токосъема. // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – №4. – С. 166–173. 4. Плохов И.В., Козырева О.И., Ильин А.В. Общие подходы к моделированию динамики электрофрикционного взаимодействия. Вестник Псковского государственного университета. 2013. №3. 5. Alexander Ilyin, Igor Plokhov, Andrey Isakov. The simulation model of a sliding contact. Environment. Technology. Resources: Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference June 20–22, 2013. Volume II. Rezekne, 2013. P. 111–115. ISSN 1691-5402. 6. Плохов И.В., Козырева О.И., Ильин А.В. Структура и алгоритмы имитационного моделирования динамики электрофрикционного взаимодействия. Вестник Псковского государственного университета. 2013. №3. С.