

## ДИНАМИКА КОЛЛЕКТОРНО-ЩЕТОЧНОГО УЗЛА ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЛОКОМОТИВА: УЧЕТ НЕУДЕРЖИВАЮЩИХ СВЯЗЕЙ

А. И. ОРЛЕНКО

*Красноярский институт железнодорожного транспорта, Российская Федерация*

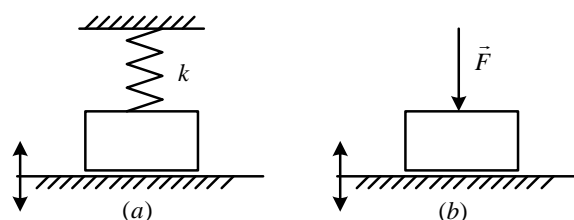
А. В. ЕЛИСЕЕВ

*Иркутский университет путей сообщения, Российская Федерация*

**Введение.** Обеспечение надежности тяговых двигателей электровозов относится к числу комплексных проблем [1, 2], в которых динамика коллекторно-щеточного узла имеет большое значение.

Рассматриваются вопросы построения математических моделей с учетом действия различных сил при наличии неударных связей. Принципиальная схема коллекторно-щеточного узла приведена на рисунок 1 а, б.

Рисунок 1 – Принципиальная схема коллекторно-щеточного узла



**I. Особенности построения математической модели.** Для обобщенного рассмотрения динамики коллекторно-щеточных взаимодействий вводится понятие обобщенной функции зазора. В таблице 1 представлены основные элементы аналитического подхода: базовая модель, связи с параметрами, семейство возможных траекторий в фазе полета, функция зазора, условия отрыва.

Обобщенный подход на основе использования функции зазора предполагает рассмотрение семейства возможных траекторий в фазе свободного полета.

В рамках представлений о функции зазора условия отрыва щетки определяются не только положением щетки или фазовыми параметрами движения коллектора, но и определенными соотношениями между смещением, скоростью, ускорением щетки. Обоснованность применения и использования функции зазора опирается на предложенные теоремы о необходимых и достаточных условиях реализации отрыва щетки [2].

Таблица 1 – Элементы аналитического подхода

I. Базовая модель	II. Параметрическая модель	III. Семейство возможных траекторий: 1 – траектория отрыва, $A = 0,0005$ м, $\omega = 200$ рад/с	
$\begin{cases} \ddot{X}(t) = -g, t \geq t_0 \\ \dot{X}(t_0) = \dot{H}(t_0) \\ X(t_0) = H(t_0) \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{\partial^2 X_H(t, t_0)}{\partial t^2} = -g, t \geq t_0 \\ \left. \frac{\partial X_H(t, t_0)}{\partial t} \right _{t=t_0} = \omega A \cos(\omega t_0) \\ X_H(t, t_0) _{t=t_0} = A \sin(\omega t_0) \end{cases}$		
IV. Функция зазора	V. Дифференциальные условия отрыва $k$ -го порядка		
$\begin{aligned} R_H(t, t_0) &= \\ &= X_H(t, t_0) - H(t) \end{aligned}$	$\begin{cases} \left. \frac{\partial^i R_H(t, t_0)}{\partial t^i} \right _{t=t_0} = 0, i < k \\ \left. \frac{\partial^k R_H(t, t_0)}{\partial t^k} \right _{t=t_0} > 0 \end{cases}$		

Для решения задач сравнительного анализа возможностей возникновения взаимодействий вводится также понятие «порядок точки отрыва». Физический смысл понятия «порядок точки отрыва» связан с особенностями соотношений элементов набора кинематических параметров движения. Более сложные движения с отрывом в рамках данной работы не рассматриваются, но они возможны и определяются законом периодического движения поверхности и особенностями действующих дополнительных сил.

**Заключение.** На основе использования функции зазора и условий отрыва получен ряд аналитических выражений для характеристик траекторий движения щетки после отрыва в точках второго и третьего порядка. На основе обобщенного подхода исследованы закономерности формирования траектории с непрерывным подбрасыванием.

Получены аналитические соотношения ряда ключевых характеристик: условия отрыва щетки от поверхности колебания, оценки длительности полета, зависимости от постоянных дополнительных сил и возможных сил сопротивления. Установлена роль кратности периода свободного полета в формировании свойств режимов с непрерывным подбрасыванием и др.

#### Список литературы

1 Орленко, А. И. Комплексная диагностика тягового электродвигателя электровоза : [моногр.] / А. И. Орленко, М. Н. Петров, О. А. Терегулов. – Красноярск, 2016. – 218 с.

2 Елисеев, А. В. Динамика вибрационных взаимодействий элементов технологических систем с учетом неударных связей : [моногр.] / А. В. Елисеев, В. В. Сельвинский, С. В. Елисеев. – Новосибирск : Наука, 2015. – 332 с.

УДК 539.3

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРУГЛОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ УПРУГОЙ СТУПЕНЧАТОЙ ПЛАСТИНЫ

В. С. ПАРФЕНОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рассматривается несимметричная по толщине круглая ступенчатая упругая трехслойная пластина с жестким наполнителем. Система координат  $r, \varphi, z$  связывается со срединной плоскостью наполнителя. Для описания кинематики пакета используется гипотеза «ломаной» линии: в тонких несущих слоях 1, 2 справедливы гипотезы Кирхгофа, в жестком несжимаемом по толщине сравнительно толстом наполнителе 3 нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол  $\psi(x)$ . Между слоями склейка, не допускающая взаимного проскальзывания. Деформации считаются малыми.

Считаем, что к наружной поверхности первого несущего слоя приложены произвольные распределенные нагрузки  $q(r), p(r)$ , к контуру пластины – погонные усилия и моменты  $T_r^0, H_r^0, M_r^0, Q^0$ . В силу симметрии нагрузки тангенциальные перемещения в слоях отсутствуют:  $u_\varphi^{(k)} = 0$  ( $k$  – номер слоя), а прогиб пластины  $w$ , относительный сдвиг в наполнителе  $\psi$  и радиальное перемещение координатной поверхности  $u$  не зависят от координаты  $\varphi$ , то есть  $w = w(r), u = u(r), \psi = \psi(r)$ . В дальнейшем эти функции считаем искомыми. На контуре пластины предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев ( $\psi = 0$  при  $r = 1$ ). Все перемещения и линейные размеры пластины отнесены к ее радиусу  $R$ , силовые характеристики – к 1 Па. Толщины несущих слоёв – ступенчато-переменные.

Через  $h_k$  обозначена толщина  $k$ -го слоя ( $k = 1, 2, 3$  – номер слоя), при этом

$$h_1 = h_{10} + h_{11}H_0(r - r_0); \quad h_3 = 2c, \quad h_2 = h_{20} + h_{21}H_0(r - r_0),$$

где  $h_{10}, h_{11}, h_{20}, h_{21}, c$  – константы;  $r_0$  – координата сечения, в которой изменяется толщина пластины;  $H_0(x)$  – функция Хевисайда.