

УДК 621.891

А. И. ВОЛЬЧЕНКО¹, М. В. КИНДРАЧУК², Д. А. ВОЛЬЧЕНКО¹,
В. С. СКРЫПНИК¹, В. Я. МАЛЫК¹

¹Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

²Национальный авиационный университет, Украина

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ТРИБОСОПРЯЖЕНИЯХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПАР ТРЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ

В материалах статьи проиллюстрирована природа переходного электротермического сопротивления при фрикционном взаимодействии микровыступов и емкостей их переходной зоны с последующим использованием полученных результатов для компьютерного моделирования энергонагруженности металлополимерных пар трения тормозов.

Ключевые слова: пара трения, пятно контакта, микровыступы, полимерный и металлический элемент, сопротивление контакта, удельное электрическое и тепловое сопротивление, емкость микровыступов, компьютерное моделирование.

Введение. При электротермомеханическом фрикционном взаимодействии пятен контактов микровыступов пар трения тормозных устройств одним из основных эксплуатационных параметров является контактное сопротивление их поверхностей. Последние имеют различные характеристики, вызванные высоким тепловым режимом, наличием пленок и без них, попаданием продуктов износа на пятна контактов микровыступов и в зазоры между ними, механические колебания микровыступов фрикционных накладок, находящихся на ленте тормоза. Исходя из этого, необходимо ставить вопрос об определении переходного электротермического сопротивления контактного взаимодействия микровыступов пар трения тормозных устройств.

Состояние проблемы. И. В. Крагельский, М. М. Добычин, В. С. Комбалов [1], анализируя критические точки, которые характеризовали условия перехода от одного типа фрикционного взаимодействия к другому, утверждали: «Отдельные участки тонкого поверхностного слоя металла в результате возникновения на нем при электромеханическом трении значительных деформаций и напряжений, а также высоких контактных температур переходят в особое активизированное неустойчивое состояние. Последнее позже П. А. Тиссен назовет «магма плазма» [2] (см. рис. 1). Вещество в таком состоянии способно вступать в реакцию с материалом контртела и окружающей средой, даже с нейтральными газами». Данный процесс сопровождается механоиммерсионными и механохимическими эффектами, химическими реакциями, газоразрядными явлениями, синтезом некоторых веществ, а также возникновением частиц с большой энергией, то есть возбужденных молекул, атомов, ионов, быстрых электронов, фононов (звуковых квантов), фотонов (квантов электромагнитного излучения). Перечисленные процессы, явления и эффекты имеют место в парах трения «металл-металл». В парах трения «металл-полимер» возбуждающим фактором является метастабильное состояние поверхностных слоев полимерной накладки при достижении ими допустимой температуры для ее материалов.

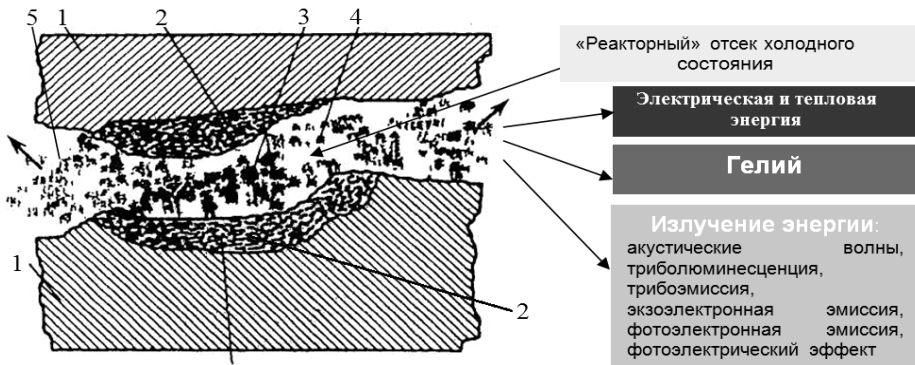


Рис. 1. Модель магмы-плазмы: 1 – исходная структура; 2 – расплавленная структура; 3 – плазма; 4 – электроны трибоэмиссии; 5 – атомы, фотоны, фононы, ионы, возбужденные молекулы, быстрые электроны

В данной публикации не уделено внимание переходному электротермическому сопротивлению в трибосопряжениях пар трения, в зависимости от изменяющейся величины которого напрямую зависит энергонагруженность их поверхностных слоев.

Постановка задачи. В данной публикации рассмотрены следующие вопросы применительно к исследуемой проблеме:

- природа электротермического контактного сопротивления при фрикционном взаимодействии микровыступов пар трения;
- емкость переходной зоны контактного сопротивления микровыступов пар трения;
- особенности компьютерного моделирования энергонагруженности металл-полимерных пар трения тормозов.

Цель работы – разработать метод определения переходного электротермического сопротивления микровыступов пар трения тормозных устройств для оценки энергонагруженности их поверхностных слоев.

Природа электротеплового контактного сопротивления при фрикционном взаимодействии микровыступов пар трения. При фрикционном взаимодействии микровыступов металлополимерных пар трения тормозных устройств электротермическое контактное сопротивление изменяется, в основном, за счет изменения переходного сопротивления.

Природа переходного сопротивления до сих пор полностью не выяснена. Существует несколько различных теорий по этому вопросу, но наибольшее распространение получили две основные теории контактного сопротивления – В. Чельхлина и Р. Хольма, эти теории основаны на несколько различной природе этого явления, но приводят тем не менее к одинаковому результату. В первом случае возникновение переходного сопротивления объясняется сопротивлением микровыступов, проводящих электрический и тепловой ток, во втором – сопротивлением стягивания линий электрического и теплового тока к проводящим участкам микровыступов. При увеличении контактных удельных нагрузок микровыступы сжимаются, увеличивая поверхность фактического контакта и, соответственно, уменьшая сопротивление выступов и величину стягивания.

В табл. 1. в зависимостях (1)-(9) приведены следующие условные обозначения: R_1, R_2 – электросопротивление полимерных и металлических микровыступов, Ом; ρ – удельное электрическое сопротивление, (Ом·мм²)/м; K – постоянная

Больцмана, Дж/К; p_k – контактные удельные нагрузки, МПа; a , r – радиусы: площадки микровыступа; цилиндрического тела контакта, мм; HB_1 – твердость по Бринеллю полимерного микровыступа, МПа; d – суммарная толщина пленок, мм; σ_m – удельное туннельное сопротивление, Ом·мм².

Таблица 1

Определение переходного электрического сопротивления в металлополимерных парах трения тормозных устройств

Название параметра	Расчетная зависимость
Электросопротивление контактов микровыступов: суммарное;	$R_c = R_1 + R_2 + R_n$; (1)
переходное;	$R_n = \rho K / p_k$; (2)
переходное с учетом пленки.	$R'_n = R_{cm} + R_{nl}$; (3)
Сопротивление стягивания:	$R_{cm} = 0,5\rho(a^{-1} - r^{-1})$; (4)
микротоков на пятнах контактов микровыступов при условии $r \gg a$;	$R_{cm} = 0,5\rho a$; (5)
при контактировании металлополимерных пятен;	$R_{cm} = 0,25(\rho_1 + \rho_2) / a$; (6)
при дискретном контакте, составляющих (n) приведенных одинаковых площадей пятен контактов при их фактической площади взаимодействия $A = 1,5\pi a n$ и действии контактных удельных нагрузок, которая составляет $A = \rho_k / HB$ для сопротивления R_{cm} .	$R_{cm} = 0,5\rho\sqrt{\pi HB_1 / n p_k}$; (7)
Сопротивление неоднородных пленок одинаковой толщины с приведенной удельной его величиной (ρ'_{nl}) при условии, что $\rho'_{nl} = \sigma_m$ и после преобразований с учетом (1) и (3) выражение (7) для переходного сопротивления имеет вид	$R_{nl} = (\rho'_{nl} d) / A$; (8)
	$R_n = 0,5\rho / a + \sigma_m / (\pi A^2)$. (9)

Суммарное электросопротивление контактов микровыступов определяется по зависимости 1. В свою очередь, переходное сопротивление определяется по зависимости 2. При этом переходное сопротивление с учетом пленки, образующейся на пятнах контактов микровыступов, находится по зависимости 3.

Теория Р. Хольма получила большое распространение, поскольку в ней более полно отражены явления в переходной зоне контакта пятен микровыступов. Модель контактных поверхностей пятен микровыступов пар трения по теории Р. Хольма показана на рис. 2.

Вся поверхность контактирования, площадь которой определяется по формуле Герца, является кажущейся. Вследствие ее изменяющейся шероховатости в процессе фрикционного взаимодействия контакты соприкасаются лишь на отдельных участках, суммарная площадь которых называется фактической. Обе поверхности контактов обычно покрыты окисными пленками, которые при приложении к ним увеличивающихся контактных удельных нагрузок разрушаются.

В результате образуются участки с контактированием чистых металлических поверхностей (участки a). Участки с металлической проводимостью образуются также в результате фриттинга, то есть пробоя окисной пленки под действием электротеплового поля. Более прочные участки пленки при сжатии при-

обредают свойства полупроводников с большим удельным сопротивлением. Их проводимость называется квазиметаллической (участки б). Участки, на которых при контактировании разрушение пленки не произошло, электрический ток не проводят (участки в). Другие участки кажущейся контактной поверхности не контактируют (участки з), они разделены продуктами деструкции полимерной накладке. Остатки разрушенных окислов, пыль и продукты износа, накапливаясь во впадинах шероховатой поверхности, упрочняются и препятствуют сближению контактов и образованию новых пятен с металлической проводимостью, что, в свою очередь, ведет к увеличению переходного сопротивления. Ток, проходя из одного контакта в другой, стягивается к проводящим участкам (рис. 3), где его плотность может достигать очень большой величины (до $1 \cdot 10^5$ А/мм²).

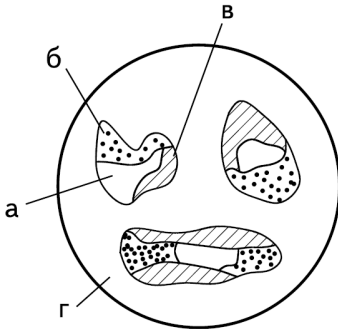


Рис. 2. Модель контактных поверхностей микровыступов пар трения: а – «металл-металл»; б – «полимер-металл»; в – «полимер-полимер»; з – неконтактирующие пятна микровыступов

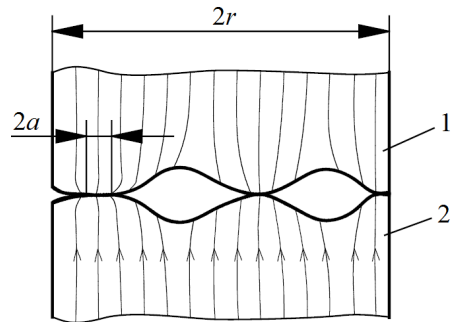


Рис. 3. Линии стягивания электрического тока в дискретных контактах микровыступов пары трения «полимер (1) – металл (2)»

Остановимся на линиях теплового тока, развивающихся на пятнах контактов микровыступов.

На рис. 4, а выделены «граничные» линии тока, отделяющие область основного теплового потока, идущего через площадку фактического контакта, от области дополнительного теплового потока, идущего через промежуточную среду в зазоре между микровыступами. В паре трения «металл-металл» сопряжения имеет место равенство плотностей тепловых потоков и температур на границах различных сред.

Электризация поверхностей полимерной накладке и полимерной пленки, осуществляется за счет массопереноса на рабочей поверхности металлического фрикционного элемента при контактно-импульсном взаимодействии друг с другом, является суммой двух эффектов, кинетического и равновесного (рис. 4, а). Кинетический эффект вызван тем, что металлический фрикционный элемент с полимерными пленками на своих рабочих поверхностях вращается, а рабочая поверхность полимерной накладке является неподвижной. В этом случае вызывающий электризацию кинетический эффект связывают с тем, что взаимодействующая пленка металлического фрикционного элемента нагревается больше, чем неподвижная полоса поверхности полимерной накладке. Для изучения пары трения «полимер-полимер» (рис. 4, з) большое значение имеет равновесный эффект. Этот эффект возникает на начальной и конечной стадиях контактно-импульсного взаимодействия двух полимерных пятен контакта и при этом пленка металлического фрикционного элемента является частично изношенной.

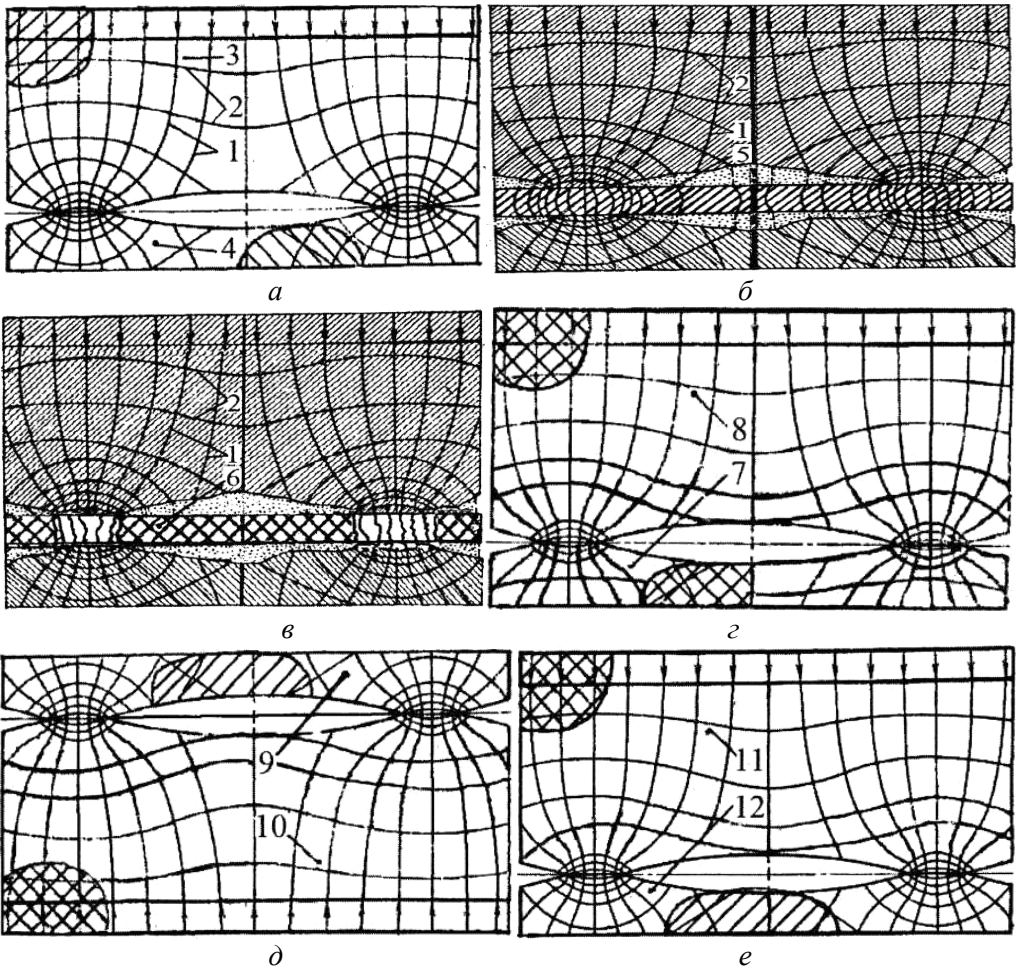


Рис. 4. Линии теплового тока (1) и изотермы (2) при фрикционном взаимодействии контактов пар трения: а – «металл (3) – металл (4)»; б – «металл (3) – металлическая пленка (5) – металл (4)»; в – «металл (3) – полимерная пленка (6) – металл (4)»; з – «полимер (7) – полимер (8)»; д – «металл (9) – полимер (10)»; е – «полимер (11) – металл (12)»

Металлические и квазиметаллические участки проводимости не равномерно распределены по контактной площадке для случая контактирования двух микровыступов, когда средняя величина удельных нагрузок зависит на какой ветви (набегающей или сбегающей) тормозной ленты находятся фрикционные накладки с их набегающими и сбегающими поверхностями. При контактировании сферических поверхностей удельное давление изменяется по эллиптическому закону, убывая от центра контактной площадки к периферии, и на границах площадки равно нулю (задача Герца). В соответствии с этим соотношение числа участков с металлической и квазиметаллической проводимостью изменяется: в центре преобладают участки с металлической проводимостью, на периферии – с квазиметаллической. Причем на граничной полосе находится зона, состоящая только из участков с квазиметаллической проводимостью. Это очень важно при работе на высоких частотах механических колебаний микровыступов, находящихся на рабочей поверхности накладок. При этом происходит смещение гене-

рируемого электрического тока к наружным поверхностям пятен контактов микровыступов, покрытых окисными пленками с высоким сопротивлением, то есть в зону с квазиметаллической проводимостью. Поэтому с увеличением частоты механических колебаний микровыступов накладок переходное сопротивление контактных пар возрастает особенно интенсивно, начиная с 1,1 кГц.

В общем случае переходное сопротивление контактов обусловлено сопротивлением стягивания R_c и сопротивлением поверхностной пленки R_{nl} и выражается зависимостью 3.

Сопротивление стягивания R_c обусловлено шероховатостью поверхности контактов и характером контакта (микровыступов). Сопротивление поверхностной пленки R_{nl} обусловлено наличием непроводящих или полупроводящих пленок на поверхностях пятен контактирования.

Сопротивление стягивания выступов с радиусом площадки касания (a) описывается зависимостью 4 и в окончательном виде выражением 5.

В дальнейшем при контактировании металлополимерных пятен получена зависимость 6.

И в завершении получено выражение 7, описывающее сопротивление стягивания микротоков на пятнах контактов микровыступов пар трения.

Поверхностное сопротивление обусловлено в основном сопротивлением квазиметаллических участков, так как сопротивление металлических участков сравнительно мало.

После чего было определено с помощью выражения 8 сопротивление пленок пятен контактов микровыступов, а затем уже было получена зависимость 9 для определения переходного сопротивления. Полученная формула справедлива для прочных тонких пленок при удельных нагрузках до 1,5 МПа, т.е. до разрушения рабочих поверхностей накладок. При значительных удельных нагрузках поверхностные пленки разрушаются, размеры контактных металлических поверхностей увеличиваются, и переходное сопротивление практически полностью определяется сопротивлением стягивания.

Современные исследования показывают, что полная проводимость контактов гораздо сложнее и состоит из следующих видов: металлической, квазиметаллической (полупроводниковой), холодной эмиссии, термоэмиссии, газового разряда, электрохимической и термо-ЭДС. Однако основное влияние на проводимость оказывают два первых вида проводимости – металлическая и квазиметаллическая.

Схему работы электрического контакта пятен микровыступов пар трения целесообразно в общем виде представить так, как показано на рис. 5.

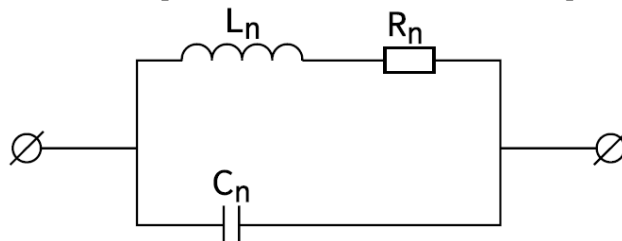


Рис. 5. Эквивалентная схема электрического контакта микровыступов пар трения

Переходная зона, как и всякое сопротивление, обладает индуктивностью (L_n) и емкостью (C_n), которые образуют реактивное сопротивление этой зоны.

При низких частотах микротоков и на их переменной величине влияние реактивного сопротивления пренебрежимо мало.

Емкость переходной зоны контактного сопротивления микровыступов пар трения. Соприкасающиеся контактные поверхности микровыступов имеют всегда определенную шероховатость, поэтому фактическое их касание происходит только в отдельных пятнах. Другие микровыступы в момент касания поверхностей пятен находятся на расстоянии, которое соизмеримо с размерами атомов, и образуют участки с высокой локальной емкостью, соединенные параллельно с проводящими участками, находящимися на поверхностях микровыступов. Что касается наличия поверхностной пленки на контактах в некоторых пятнах микровыступов при удельных нагрузках ниже предела прочности пленки, она не разрушается, а способствует созданию полупроводниковой структуры. Некоторые из пленок могут обладать изолирующими свойствами, способствующие образованию участков с большой локальной емкостью. Последняя усиливается при попадании продуктов износа между микровыступов, поскольку они заряжены отрицательно. При попадании продуктов износа на поверхности пятен микровыступов происходит усиление двойного электрического слоя металлического фрикционного элемента, и, как следствие, увеличение разности потенциалов между микровыступами пар трения. В результате чего наблюдается снижение локальной емкости между пятнами контакта микровыступов.

В общем виде переходная емкость при переменном токе двух шероховатых пятен контактов микровыступов будет равна сумме емкостей каждого выступа

$$C_{no} = C'_k + C''_k + C_n = \sum_{i=1}^{n'} C'_{ki} + \sum_{i=1}^{n''} C''_{ki} + \sum_{i=1}^n C_{ni}, \quad (10)$$

где C_{no} – переходная емкость двух контактов; C'_k – емкость контактирующих выступов с разрушенной поверхностной пленкой; C''_k – емкость контактирующих выступов с неразрушенной поверхностной пленкой; C_n – емкость неконтактирующих выступов.

Схема контактирования двух шероховатых поверхностей микровыступов представлена на рис. 6.

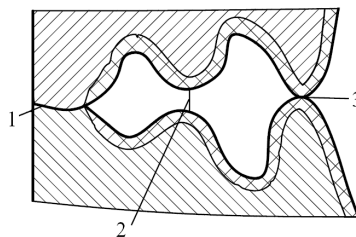


Рис. 6. Схема контактирования микровыступов металлополимерных пар трения: 1, 3 – зона контактирования с разрушенной и неразрушенной пленкой (зона металлического контакта); 2 – зона отсутствия контактирования

Значение емкости конденсатора с диэлектриком (полимерной накладкой) и накопленный в нем электрический заряд обусловлены несколькими механизмами поляризации, которые различны у разных диэлектриков и могут иметь место одновременно у одного и того же материала.

Эквивалентную схему диэлектрика, в котором существуют различные механизмы поляризации, можно представить в виде ряда подключенных параллельно к источнику напряжения U конденсаторов, как показано на рис. 7.

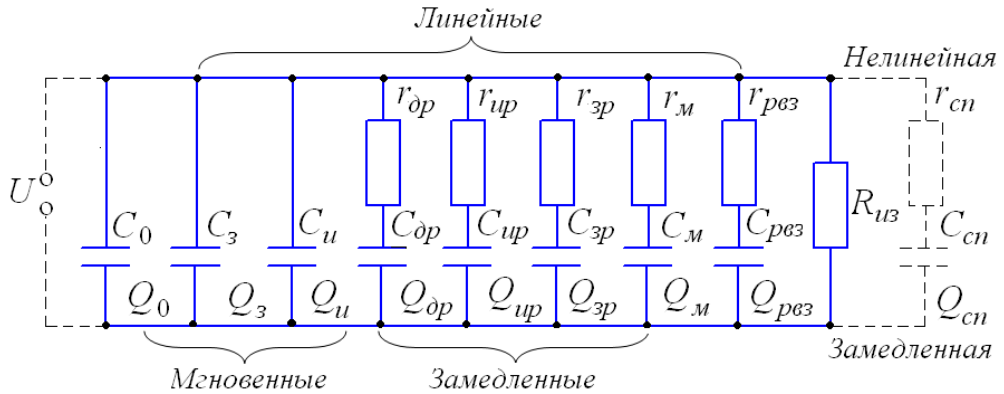


Рис. 7. Эквивалентная электрическая схема полимерной накладки

Емкость C_0 и заряд Q_0 соответствуют собственному полю электродов, если в пространстве между ними нет диэлектрика (вакуум). Все остальные значения C и Q соответствуют различным механизмам поляризации: электронной, ионной, дипольно-релаксационной, ионно-релаксационной, электронно-релаксационной, миграционной, резонансной, и спонтанной, r означает сопротивления, эквивалентные потери энергии при указанных механизмах поляризации.

Емкости конденсаторов эквивалентной схемы (рис. 7) шунтированы сопротивлением изоляции $R_{из}$, представляющим собой сопротивление микровыступов полимерной накладки току сквозной электропроводности [3].

Особенности компьютерного моделирования энергонагруженности металлополимерных пар трения тормозов. Конструктивные микро- и миллигеометрические параметры фрикционного соединения оказывают влияние на все основные характеристики теплового режима электротермомеханического трения: закономерности распределения тепловых потоков, поверхностную температуру, температурные градиенты и объемное распределение температур в телах фрикционного взаимодействия. Конструкция влияет на общие закономерности генерирования и аккумуляирования электрических и тепловых токов через динамический коэффициент трения, а через податливость элементов трения – на равномерность распределения аккумулируемой теплоты в поверхностных слоях пар трения в пределах номинальной площади контакта.

Исходные предпосылки модели следующие: материалы пятна контакта микровыступов однородны и изотропны; контакт носит дискретный характер и происходит по вершинам отдельных микровыступов шероховатостей, деформация микровыступов имеет упругий характер и описывается зависимостью Герца для контакта двух криволинейных гладких тел с первоначальным касанием в точке; размеры единичных пятен контакта малы по сравнению с размерами зоны взаимодействия и радиусами кривизны микровыступов в точке касания; в зоне контакта действуют только импульсные нормальные силы и силы трения; распределение пятен контакта по поверхности пар трения равномерное. Исходными данными для расчета являются характеристики микрогеометрии поверхностей – максимальная высота выступов над средней линией профиля R_p и максимальный радиус закругления выступов r_{max} ; физико-механические характеристики материала – модуль упругости (модуль Юнга) E , коэффициент Пуассона μ , удельное электрическое сопротивление материала ρ ; эксплуатационные характеристики, импульсная нормальная сила, сжимающая контакт.

В табл. 2 представлены основные зависимости для расчета характеристик единичного контакта двух сферических микровыступов пятна контакта.

Таблица 2

Механические и электрические характеристики пятна контакта двух сферических микровыступов металлополимерных пар трения

Название параметра		Расчетная зависимость	
Радиус единичного пятна контакта		$a = (0,75Nr / E)^{2/3};$ (11)	
Деформация контактирующих микровыступов		$\delta = \frac{a^2}{r} = \left[(0,56N^2 / (rE^2)) \right]^{0,25};$ (12)	
Удельная нагрузка на пятне контакта микровыступов	максимальная	$P_1 = \left(\frac{6NE^2}{\pi^2 a^2} \right) = 1,5N / (\pi a^2);$ (13)	
	средняя	$P_2 = 0,66P_1 = N / (\pi a^2);$ (14)	
Приведенный модуль Юнга		$1/E = (1 - \mu_1^2) / E_1 + (1 - \mu_2^2) / E_2;$ (15)	
Средняя глубина проникновения в тело элементов	полимерного	теплоты	$b_1 = 1,73\sqrt{a_1\tau};$ (16)
			$b_2 = 1,73\sqrt{a_2\tau};$ (17)
	металлического	тока	$b_3 = 0,05\sqrt{\rho / (v\mu_3)};$ (18)
Сила тока		$I = \sqrt{\frac{t_{\max} \cdot \alpha_T \cdot l_k}{R_k \cdot \rho}}.$ (19)	

В табл. 2 в зависимостях (11)-(19) применены следующие условные обозначения: N – импульсное нормальное усилие, кН; E – приведенный модуль упругости материалов контактирующих микровыступов, МПа; a_1, a_2 – коэффициенты температуропроводности материалов контактирующих микровыступов, m^2/c ; τ – время фрикционного взаимодействия, с; μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона материалов контактирующих микровыступов; v – частота колебаний микровыступов, c^{-1} ; μ_3 – относительная магнитная проницаемость материалов микровыступов; t_{\max} – максимальная температура на пятне контакта микровыступов, °С; α_m – коэффициент внешней теплоотдачи, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$; R_k – термическое сопротивление контакта, °С/Вт; l_k – длина контакта, мм.

Компьютерная модель практически реализована в виде windows - приложения, написана на языке C++ с использованием библиотеки классов Borland. Программно модель входит в основной расчетный модуль, в который включена оценка внешних и внутренних параметров металлополимерных пар трения на макро-, микро – и наноровнях.

Кроме основного, есть дополнительный модуль, отвечающий за удобство представления данных и пользовательский интерфейс. Результатом работы являются эксплуатационные характеристики контакта, представленные в виде таблицы. Для большей наглядности на основе предложенных формул предусмотрена возможность строить графики зависимостей характеристик контакта от внешних факторов, которыми являются токи омывающего воздуха и компонентов смесей.

В рамках компьютерной модели расчет характеристик контакта происходит следующим образом. Генерируется пара случайных чисел, распределенных по

заданному закону, соответствующих высоте и радиусу выступа шероховатой поверхности. Логику работы программы иллюстрирует блок-схема основного расчетного модуля для параметров механического, электрического и теплового полей (рис. 8).

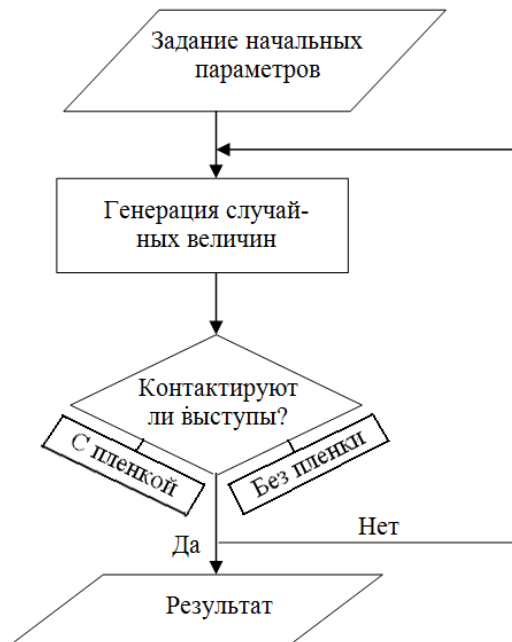


Рис. 8. Блок-схема основного расчетного модуля

Программа связана с базой данных MS Access, состоящей из двух таблиц, каждая из которых включает в себя 33 поля. Первая таблица содержит значения исходных промежуточных данных, а вторая – значения результатов. Таблицы используются для построения графиков.

При этом первое поле каждой таблицы зарезервировано для проверенной начальной комбинации исходных параметров и используется только в начале работы и только для чтения. Прежде всего программа считывает начальную комбинацию исходных параметров из базы данных и дополняет этими значениями поля исходных данных. Затем пользователь редактирует их, выполняет расчет, после чего заполняется таблица значений и по ней строится график.

Адекватность модели проверялась путем сравнения результатов моделирования с данными работ других авторов, полученными на основании аналитических моделей для некоторых частных случаев [4-6].

Выводы. Таким образом, предложен метод для определения контактного электротеплового сопротивления при фрикционном взаимодействии пятен контактов микровыступов пар трения тормозных устройств для более точной оценки энергонагруженности их поверхностных слоев.

Список литературы

1. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение. – 1977. – 526 с.
2. Thiessen P.A. Grundlagen der Tribochemie / P.A. Thiessen, K. Meyer, G. Heinicke. – Berlin: Akademie-Verlag. – 1967. – 267 p.
3. Генерирование термоЭДС на пятнах контакта микровыступов и ее влияние на

явление массопереноса в трибосопряжении / М. В. Киндрачук, Д. А. Вольченко, С. И. Криштопа [и др.] // Проблемы трения и изнашивания. – Киев: НАУ. – 2015. – №3(68). – С. 4–21.

4. Закономерности изменения характеристик процессов, явлений и эффектов в рабочих мтеаллополимерных пар трения при электротермомеханическом трении / А. М. Пашаев, А. Х. Джанахмедов, Д. А. Вольченко [и др.] / Вестник Азербайджанской инженерной академии. – Баку. – 2014. – №6(1). – С. 7–24.

5. Чичинадзе А. В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А. В. Чичинадзе, Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун и др. Под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение. – 2003. – 576с.

6. Компьютерное моделирование энергонагруженности металлополимерных пар трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок (часть первая) / Д. Ю. Журавлев, С. И. Криштопа, И. О. Бекиш [и др.] // Проблемы трения и изнашивания. – Киев: НАУ. – 2014. – №4(65). – С. 47–59.

Стаття надійшла до редакції 18.01.2017

*О. І. ВОЛЬЧЕНКО, М. В. КИНДРАЧУК, Д. О. ВОЛЬЧЕНКО, В. С. СКРИПНИК,
В. Я. МАЛИК*

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНТАКТНОГО ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОГО ОПОРУ В ТРИБОСПРЯЖЕННЯХ МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ ПАР ТЕРТЯ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ

У матеріалах статті проілюстрована природа перехідного електротермічного опору при фрикційній взаємодії мікроступів і смностей їх перехідної зони з подальшим використанням отриманих результатів для комп'ютерного моделювання енерговантаженості металополімерних пар тертя гальм.

Ключові слова: пара тертя, пляма контакту, мікроступ, полімерний і металевий елемент, опір контакту, питомий електричний і тепловий опір, смність мікроступів, комп'ютерне моделювання

Вольченко Александр Иванович – доктор техн. наук, профессор кафедры механики машин, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 72 71 41, E-mail: mechmach@nung.edu.ua.

Киндрачук Мирослав Васильевич – доктор техн. наук, профессор, зав. кафедры машиноведения, Аэрокосмический институт, Национальный авиационный университет, пр. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03058, тел.: +38 04440 6 74 10, E-mail: nau12@ukr.net.

Вольченко Дмитрий Александрович – доктор техн. наук, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтегазовых месторождений, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 72 71 41, E-mail: vol21@ukr.net.

Скрипник Василий Степанович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института нефтегазовой энергетики и экологии, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 03422 4 51 14, факс: +38 03422 4 00 89.

Малык Владимир Яркович – канд. техн. наук, доцент кафедры нефтегазового оборудования, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 72 71 01, E-mail: no@nung.edu.ua.

A. I. VOLCHENKO, M. V. KINDRACHUK, D. A. VOLCHENKO, V. S. SKRYPNYK, V. Y. MALYK

THE ISSUE OF DEFINITION OF ELECTRICAL CONTACT RESISTIVITY IN THE TRIBOCOUPLING OF THE METAL-POLIMER FRICTION PAIRS OF THE BRAKING DEVICES

During electrical thermal mechanical frictional interaction of the contact spots of the microprotrusions of the friction pairs of the braking device one of the main operating parameters is the contact resistivity of their surfaces. Contact resistivity has different characteristics due to high thermal conditions, the presence and absence of the films, the hitting of wear products into the contact spots of the microprotrusions and into the gaps between them, the mechanical vibrations of the microprojections of friction pads located on the brake belt. Therefore it is necessary to raise the issue of determining of the transition electric thermal resistivity of the contact interaction of the microprotrusions of friction pairs of braking devices.

We've consider the following questions: the nature of the electric thermal contact resistivity during frictional interaction of the microprotrusions of the friction pairs; the capacitance of the transition zone of the contact resistivity of the microprojection of friction pairs; feature of the computer modeling of the energyloading of the metal-polymer friction pairs of brakes.

Keywords: friction pair, contact spot, microprotrusions, polymer and metal elements, contact resistivity, electrical and thermal resistivity, capacitance of the microprotrusions, computer simulation.

References

1. Kragel'skij I.V. Osnovy raschetov na trenie i iznos / I.V. Kragel'skij, M.N. Dobychin, V.S. Kombalov. – M.: Mashinostroenie. – 1977. – 526 s.
2. Thiessen P.A. Grundlagen der Tribochemie / P.A. Thiessen, K. Meyer, G. Heinicke. – Berlin: Akademie-Verlag. – 1967. – 267 p.
3. Generirovanie termoJeDS na pjatnah kontakta mikrovystupov i ee vlijanie na javlenie massoperenosa v tribosoprjazhenii / M. V. Kindrachuk, D. A. Vol'chenko, S. I. Krishtopa [i dr.] // Problemy trenija i iznashivaniya. – Kiev: NAU. – 2015. – №3(68). – S. 4–21.
4. Zakonomernosti izmenenija harakteristik processov, javlenij i jeffektov v ra-bochih mteallopolimernyh par trenija pri jelektrotermomehanicheskom trenii / A. M. Pashaev, A. H. Dzhanahmedov, D. A. Vol'chenko [i dr.] / Vestnik Azerbajdzhanskoj inzhe-nernoj akademii. – Baku. – 2014. – №6(1). – S. 7–24.
5. Chichinadze A. V. Trenie, iznos i smazka (tribologija i tribotehnika) / A. V. Chichinadze, Je. M. Berliner, Je. D. Braun i dr. Pod obshh. red. A. V. Chichinadze. – M.: Mashinostroenie. – 2003. – 576s.
6. Komp'juternoe modelirovanie jenergonagruzhenosti metallopolimernyh par trenija lentochno-kolodochnyh tormozov burovyh lebedok (chast' pervaja) / D. Ju. Zhurav-lev, S. I. Krishtopa, I. O. Bekish [i dr.] // Problemy trenija i iznashivaniya. – Kiev: NAU. – 2014. – №4(65). – S. 47–59.