

УДК 62-92.113

**А.И. Вольченко, профессор, д-р техн. наук,**

**Д.Ю. Журавлев, доцент, канд. техн. наук,**

**Я.В. Курыляк, аспирант**

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа,  
ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019*

## **ЕДИНОЕ ПОЛЕ ЭЛЕКТРОТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПАР ТРЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ**

*Раскрыта сущность единого поля электротермомеханического взаимодействия поверхностных слоев металлополимерных пар трения тормозных устройств и проиллюстрирована их взаимосвязь*

**Ключевые слова:** *нагрузки: динамические, электрические и тепловые; металлополимерные пары трения; узел трения; тормозное устройство; единое поле взаимодействия.*

**Введение.** Единое поле электротермомеханического взаимодействия поверхностных слоев металлополимерных пар трения тормозных устройств базируется на импульсном приложении нагрузки к микровыступам их контактирующих поверхностей (первая стадия). На второй стадии торможения происходит взаимодействие микровыступов с изменением их поверхности контактирования при увеличении импульсно приложенной нагрузки. На третьей стадии торможения происходит разрушение микровыступов поверхностей трения. В работах [1, 2, 3] было показано, что закономерности изменения параметров динамического, электрического и теплового характера подчиняются волновым зависимостям со сдвигом по фазе. Однако в данных исследованиях все выше перечисленные параметры не были рассмотрены с точки зрения единого поля электротермомеханического взаимодействия поверхностей трения тормозных устройств.

**Состояние проблемы.** К числу перспективных направлений решения задач современной триботехники относится создание новых фрикционных полимерных материалов, отвечающих условиям существования (реализации) внешнего трения, т.е. имеющих положительный градиент механических свойств поверхностного и приповерхностного слоя по толщине накладки

$$\frac{d\tau}{dy} > 0,$$

где  $d\tau$  – разрушающие связи напряжения сдвига в направлении касания микровыступов поверхностей трения;

$dy$  – координата, перпендикулярная плоскости касания пар трения.

Другими словами, при внешнем трении возникновение и разрушение связей между трущимися поверхностями металлополимерных пар трения локализуется в тонком поверхностном и приповерхностном слоях. Если  $\frac{d\tau}{dy} < 0$ , т.е. связь прочнее внешнележащих слоев, то разрушение будет

происходить по более слабому месту – в глубине (по слою или слоям), но не по поверхности сопряжения. Деформативная зона при этом охватывает весь объем материала накладки, находящегося в ее слоях, что позволяет констатировать о существовании внутреннего трения на уровне электронно-ионного взаимодействия.

**Цель работы.** Обоснование концептуального подхода к единому полю взаимодействия поверхностных и приповерхностных слоев металлополимерных пар трения тормозных устройств подверженных динамическим, электрическим и тепловым нагрузкам.

**Единое поле электротермомеханического взаимодействия металлополимерных пар трения.** Фрикционный материал полимерной накладки является диэлектриком. Активные диэлектрики представляют собой материальные среды, позволяющие непосредственно преобразовывать энергию и информацию. Указанные преобразовательные функции обусловлены физической структурой и химическим составом поверхностных и приповерхностных слоев фрикционных полимерных материалов.

«Воздействие» на полимерную накладку производится извне, при этом в зависимости от режима нагружения фрикционного узла в процессе трения возникают различные поля – механические, электрические и тепловые. В полимерных накладках преобладающим является воздействие на них электрического поля. Степень воздействия на полимерную накладку других полей (механического и теплового) зависит от электрических свойств ее поверхностных и приповерхностных слоев.

Существующее теоретическое объяснение дискретного изменения электрической и тепловой проводимости связывает механизм данного эффекта с атомной перестройкой контактной зоны, включающей стадию упругого расширения, а также стадии пластического течения и разрыва контактных перемычек, наблюдающихся с периодичностью межслоевых расстояний в образующейся контактной перемычке, расположенной в плоскости, перпендикулярной плоскости первых перемычек. При этом упругая контактная жесткость оказывается сравнимой с оценками, вытекающими из макроскопической теории. При фиксированном напряжении на контакте электрический ток и контактная проводимость оказываются пропорциональными площади контакта при любом механизме проводимости.

Известно, что механическая энергия является упорядоченной формой энергии, в то время как внутренняя энергия – разупорядоченной. Деформации микровыступов при контактировании поверхностей трения пары «металл-полимер» представлены на рисунке 1.

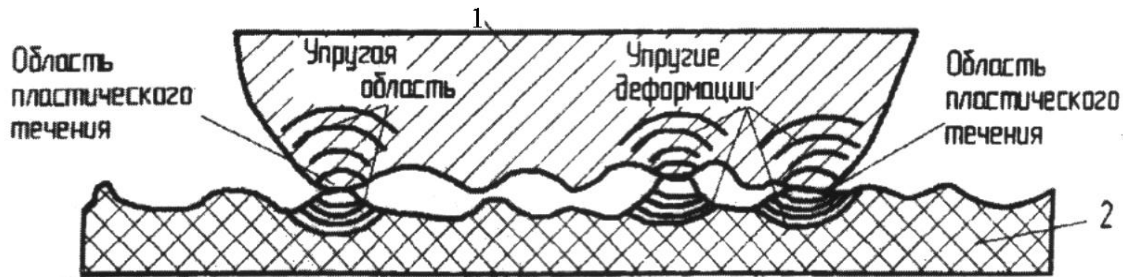


Рисунок 1 – Деформации микровыступов при контактировании пары трения «металл (1) – полимер (2)»

Траектории главных растягивающих и сжимающих напряжений в ободке шкива при равномерном распределении нагрузки в паре трения «полимер-металл» приведены на рисунке 2.

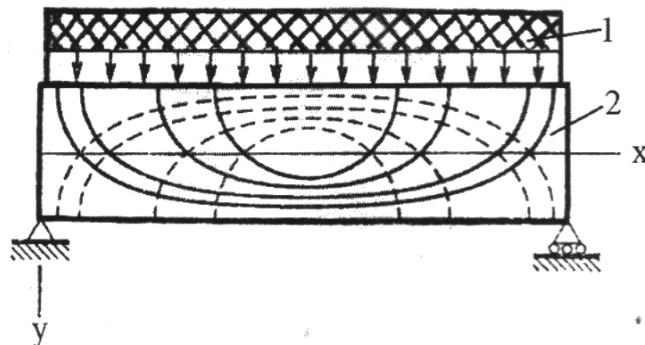


Рисунок 2 – Траектории главных растягивающих (—) и сжимающих (- - -) напряжений в ободке шкива при равномерном распределении нагрузки в паре трения «полимер (1) – металл (2)»

На рисунках 3 и 4 а, б представлены схемы импульсного нагружения пары трения «полимер-металл» в ленточно-колодочном тормозе и закономерности изменения внешних и внутренних параметров в его секторе.

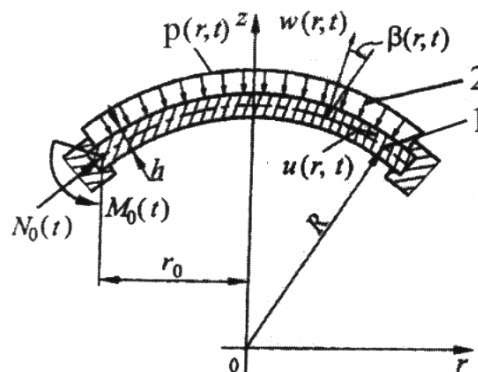


Рисунок 3 – Схема импульсного нагружения пары трения «полимер (1) – металл (2)» в ленточно-колодочном тормозе

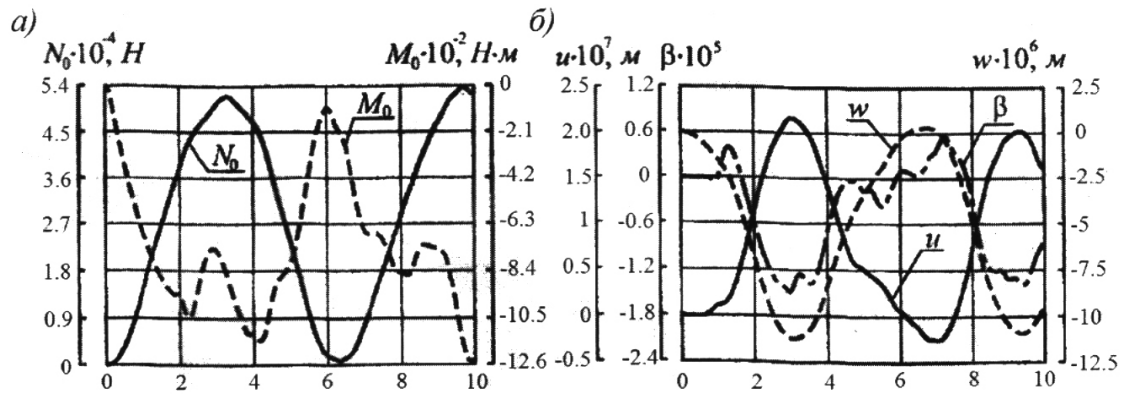


Рисунок 4 – Закономерности изменения в секторе оболочки: *a* – мембранного усилия ( $N_0$ ) и изгибающего момента ( $M_0$ ) от величины безразмерного времени; *б* – смещение срединной поверхности в меридиальном ( $u$ ) и нормальном ( $w$ ) направлениях при угле поворота ( $\beta$ ) нормали к срединной поверхности в плоскости меридиана от величины безразмерного времени

При этом использованы следующие обозначения:  $r$  – полярная координата точки;  $h, R$  – толщина оболочки и радиус кривизны ее срединной поверхности;  $t, T_{inv}$  – время взаимодействия: обычное, безразмерное;  $p, q$  – поверхностные нагрузки в меридиальном и нормальном направлениях;  $N_0, Q$  – усилия: мембранное, поперечное;  $M_0$  – изгибающий момент;  $u, w$  – смещение срединной поверхности оболочки в меридиальном и нормальном направлениях;  $\beta$  – угол поворота нормали к срединной поверхности.

По первому варианту на оболочку воздействует импульс удельных нагрузок, задаваемый формулой  $Q(t)=q_0 \cdot H(t)$ , где  $q_0=10^5 \text{ Н/м}^2$ ,  $H(t)$  – единичная функция Хевисайда [4].

По второму варианту на оболочку воздействует импульс удельных нагрузок в форме «ступеньки», задаваемый формулой  $Q(t)=q_0[H(t)-H(t-\omega)]$ , где  $\omega$  – время действия импульса удельной нагрузки.

На рисунке 4 *a, б* проиллюстрированы систематизированные и несистематизированные (но которые можно свести к систематизированным) синусоидальные кривые, порожденные импульсным нагружением металлополимерной пары трения тормоза [5].

В тормозных устройствах, имеющих не массивный металлический элемент трения (транспортные средства, некоторые подъемно-транспортные машины и др.), до достижения фрикционными накладками допустимой температуры роль термоэлектрогенератора выполняет контртело (металлический элемент трения), а термоэлектророзогревателя – поверхностные слои фрикционных накладок. После превышения допустимой температуры картина меняется на обратную. В ленточно-колодочном тормозе буровой лебедки металлический элемент трения массивен, он является термоэлектрогенератором. Тепловое состояние поверхностных слоев фрикционных накладок ленты различно.

Под «откликом» фрикционной полимерной накладки подразумевают индуцирование в ее материале физических явлений. Это может быть не только электрический ток или электрический потенциал (создаваемый зарядами на поверхности и в приповерхностном слое полимерной накладки), но и деформации, намагничивание, изменение поверхностной и объемной температуры и др.

«Воздействиями» служат векторные поля – электрическое, тепловое, тензорные поля (поля механических напряжений). Самым слабым из всех полей является магнитное, которое в большинстве случаев не способно изменить свойства поверхностного и приповерхностного слоев полимерной накладки, которые преимущественно являются диамагнетиками или парамагнетиками.

Для соблюдения принципов единого поля взаимодействия необходимо чтобы выдерживалось условие связанности – свойство топологической поверхности элементов трения с микровыступами, которые рассматриваются как единый объем, а не как сумма отделенных друг от друга объемов, или, более строго, как непустых непересекающихся открыто-замкнутых подмножеств (подгрупп).

Подмножеством являются поля (механическое, электрические и тепловое).

Подтверждена концепция импульсного взаимодействия электронов и ионов (внутреннего) в приповерхностных и поверхностных слоях элементов трения металлополимерных пар, а также контактно-импульсного взаимодействия микровыступов (внешнего) их поверхностей в едином электротермомеханическом поле. Она опирается на градиентную теорию пары трения «металл-полимер», находящуюся в квази- и метастабильном состоянии. В дальнейшем градиентная теория поверхностных слоев металлополимерных пар трения будет выступать в качестве моста между электронно-ионным моделированием и континуальной теорией их электротермомеханического взаимодействия.

**Выводы.** Таким образом, на основании динамического, электрического и теплового нагружения поверхностных слоев металлополимерных пар трения тормозных устройств сформировано единое поле взаимодействия их микровыступов.

**Библиографический список использованной литературы**

1. Основы трибологии / Под ред. Чичинадзе А.В. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
2. Сесслер С. Электреты / С. Сесслер. – М.: Мир, 1983. – 481 с.
3. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
4. Гвоздев А.А. Технология повышения долговечности узлов трения при ремонте сельскохозяйственной техники с использованием модифицированных полимерных композиций: дисс. ... докт. техн. наук. 05.20.03 / Гвоздев Александр Анатольевич. – М., 2010. – 377 с.
5. Контактно-импульсное взаимодействие металлополимерных пар трения тормозных устройств / А.И. Вольченко, Д.А. Вольченко, Д.Ю. Журавлев [и др.] // Научный вестник. – Ивано-Франковск, 2013, Вып. 1 (34). – С. 111 – 119.

*Поступила в редакцию 06.06.2013 г.*

**Вольченко О.І., Журавльов Д.Ю., Куриляк Я.В. Єдине поле електротермомеханічної взаємодії поверхневих шарів металополімерних пар тертя гальмівних пристроїв**

Розкрито суть єдиного поля електротермомеханічної взаємодії поверхневих шарів металополімерних пар тертя гальмівних пристроїв та проілюстрований їх взаємозв'язок.

**Ключові слова:** навантаження: динамічне, електричне і теплове; металополімерні пари тертя; вузол тертя; гальмівний пристрій; єдине поле взаємодії.

**Volchenko O.I., Zhuravlev D.Yu., Kurylyak Ya.V. The unified field electrothermomechanical interaction of the surface layers of metal-polymer friction pairs of braking devices**

The article reveals the essence of the integrated electrothermomechanical interaction field of the surface layers of the metal-polymer pair friction of the braking devices. Their interrelation is illustrated.

**Keywords:** loading: dynamic, electric and heat; metal-polymer pair friction; friction assembly; braking device; integrated interaction field.