

УДК 625.032.3:681.3.06+06

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ТРИБОСИСТЕМЫ «КОЛЕСО – РЕЛЬС» ПРИ ДВИЖЕНИИ ЮЗОМ

А.Л. ОЗЯБКИН, А.А. АЛЕКСАНДРОВ, К.И. ЩЕПАНОВСКИЙ, А.Л. ВЫЩЕПАН

(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Экспериментально доказываются гипотезы триботермодинамики, позволяющие идентифицировать атермическое и (или) термическое схватывание, определить максимальные величины контактных температур на фактической площади касания трибосистемы «колесо-рельс».

Ключевые слова: ползуны, физико-математическое моделирование, трибоспектральная идентификация, температура вспышки, схватывание, поверхностная и объемная температуры.

Введение. Одним из основных дефектов, влияющих на работу грузового подвижного состава, является образование неравномерного износа поверхности катания колесных пар (ползунов), что повышает динамические нагрузки на поврежденном участке, увеличение зоны дефекта и отбраковки колесных пар. Основной причиной образования односторонних ползунов продолжает оставаться применяемая на станциях технология роспуска вагонов с башмачным торможением. Горочные тормозные башмаки и колесо работают в тяжелых условиях, при которых возникают термомеханические повреждения. Процесс образования таких повреждений на сортировочных горках при башмачном торможении отличается от процесса образования аналогичных повреждений при обычном торможении тем, что, во-первых, по рельсу скользит только одно колесо, а, во-вторых, на поверхности катания рельса образуются навары закаленного металла, твердость которых достигает до НВ 800. Навары закаленного металла на рельсах интенсифицируют процесс образования ползунов на колесах, а сами рельсы требуется заменять на новые.

Идентификация термического и атермического схватывания. В Ростовском государственном университете путей сообщения проведены триботермодинамические исследования и разработана противоположная система, предотвращающая образование ползуна проворачиванием подбашмаченной колесной парой до достижения критической величины юза.

Результаты предварительных экспериментальных исследований температурных повреждений активных микрообъемов поверхностей трения проводились на лабораторной установке трения СМТ-1 по схеме «ролик-колодка» при 100% скольжении, геометрическом масштабе $C_T=24$, нормальной нагрузке 300 Н, скорости скольжения 0,3 м/с. В выбранной схеме неподвижная колодка моделирует скользящее колесо, вращающийся «ролик – рельс». В конструкцию тормозной колодки установлена хромель-алюмелевая термопара. Регистрация осуществлялась с помощью комплекса сертифицированного программного обеспечения Zetlab ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы – ЗЭТ» ФГУП ВНИИФТРИ и программы «Цифровая обработка сигналов» с применением методики трибоспектральной идентификации триботермодинамических процессов [1-5].

С целью идентификации атермического схватывания регистрировались термопарой поверхностная температура тормозной колодки, комплексный коэффициент передачи амплитудно-фазочастотных характеристик (АФЧХ) [1, 2, 4] вибрационных последовательностей в нормальном и тангенциальном направлениях фрикционного взаимодействия, интегральные оценки относительной степени неустойчивости [4], результаты которых представлены на рис.1.



Рис.1. Зависимость коэффициента трения от поверхностной температуры как функции времени испытаний

Видно, что при изменении времени испытаний от 0 до 12 с, градиенты изменения поверхностной температуры и коэффициента трения практически совпадают, преобладает упругая деформация над пластической, число формируемых фрикционных связей превалирует над количеством разрываемых, однако наблюдаются единичные моменты потери стабильности трибосистемы, обусловленные локальными мостиками термоповреждений активных микрообъемов. В момент времени 12 с, по всей видимости, происходит переход от упругих деформаций к пластическим, число разрываемых фрикционных связей становится равным числу формируемых, что обусловлено повышением температуры активных микрообъемов поверхностей трения. В последующий момент времени 21,25 с пластическая деформация достигает своего предельного состояния, число разрываемых фрикционных связей максимально, что приводит к снижению упругих свойств контактирующих поверхностей трения, снижению регистрируемого коэффициента трения при дальнейшем повышении поверхностной температуры.

Таким образом, можно утверждать, что для анализируемой трибосистемы предельная поверхностная температура составляет 71,5°C, при которой начинают происходить необратимые пластические деформации. Можно предположить, что между упругими свойствами системы и температурой формируется обратная корреляционная функция, т.е. увеличение температуры сопровождается падением коэффициента трения. Для подтверждения этой гипотезы вычислена взаимная корреляционная функция температуры и момента трения (рис.2), реализуемого в контакте.

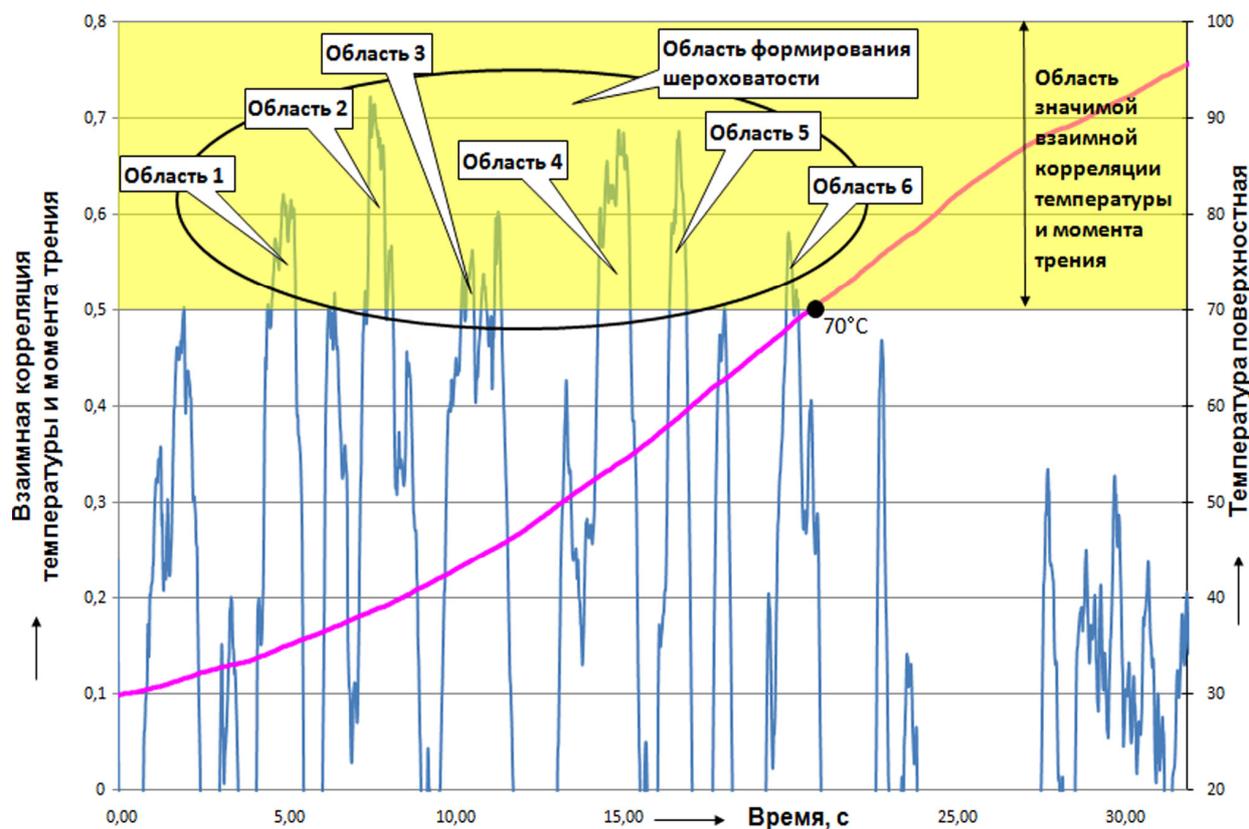


Рис.2. Зависимость взаимной корреляционной функции температуры и момента трения от поверхностной температуры и времени испытаний

Область значимой корреляции температуры и момента трения выше значения 0,5 наблюдается в шести временных областях. Сравнивая рисунки 1 и 2, имеем, что на 21 с эксперимента поверхностная температура достигает $71,5^{\circ}\text{C}$, коэффициент трения начинает снижаться, а взаимная корреляционная функция больше не превышает значимой области 0,5, что является следствием возрастания количества разрываемых фрикционных связей поверхностей трения, снижения упругих свойств фрикционного контакта, достижения максимальной величины теплоемкости поверхностей трения и возрастания пластических деформаций активных микрообъемов.

С целью установления идентификационных параметров триботермодинамики без использования инерционных термпар выполним анализ динамических процессов (рис.3), протекающих на фрикционном контакте, для временной области 4 изменения взаимной корреляционной функции.

Процесс фрикционного взаимодействия поверхностей трения сопровождается нелинейным изменением коэффициента трения, изменением соотношения диссипативных и упруго-инерционных свойств фрикционного взаимодействия (интегральных оценок степени диссипации по диапазонам частот), локальными моментами потери стабильности и возрастанием взаимной корреляционной функции поверхностной температуры и момента трения. В результате взаимного перемещения поверхностей трения друг относительно друга происходит деформация активных микрообъемов поверхностей трения, а на преодоление упругих свойств трибосистемы (трения качения с проскальзыванием) расходуется работа сил трения. При этом изменяется соотношение диссипативных и упруго-инерционных составляющих фрикционного взаимодействия, которые отображаются в вибрационных последовательностях, снятых с первичных преобразователей механических колебаний в электрический сигнал.

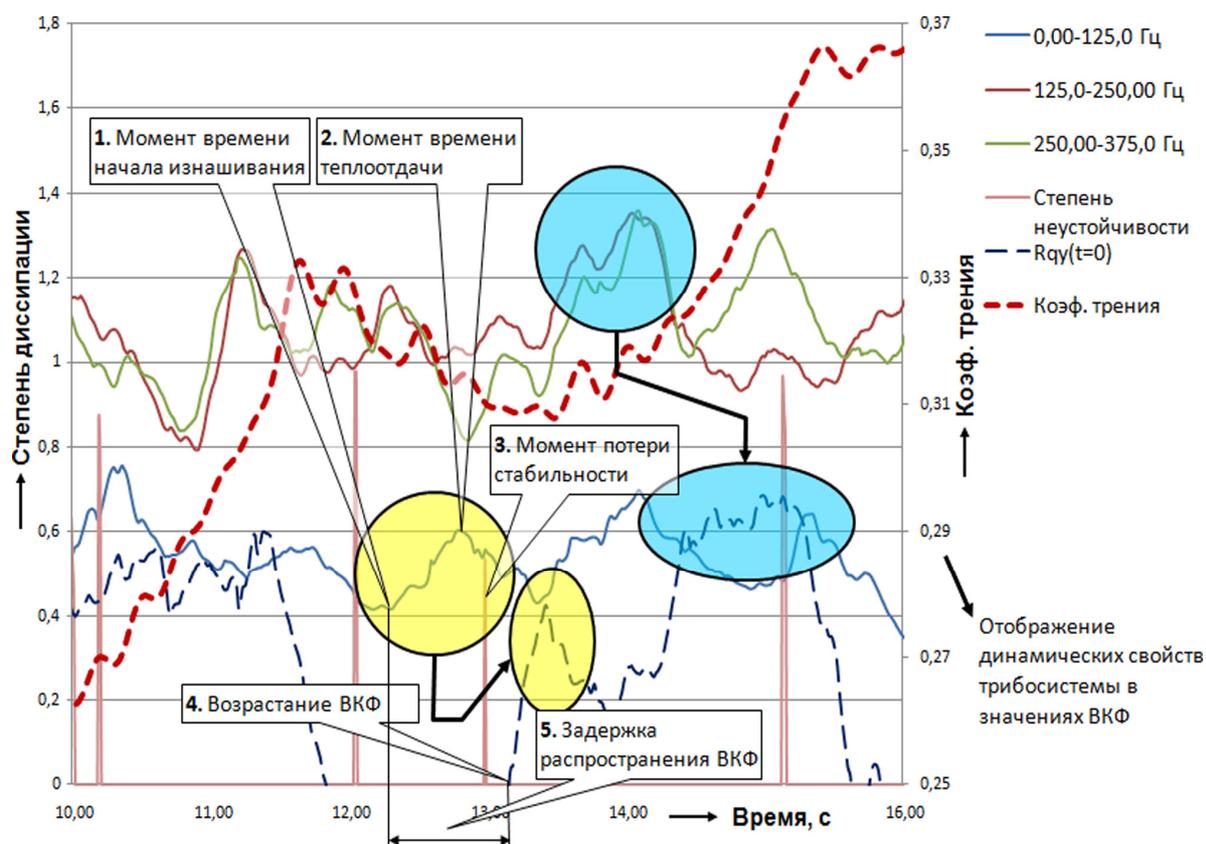


Рис.3. Интегральная оценка степени диссипации трибосистемы по диапазонам частот атермического схватывания

Выполняя параллельный анализ интегральных оценок степени диссипации трибосистемы и взаимной корреляционной функции, возможно идентифицировать триботермодинамику [4, 6] фрикционного контакта. Момент времени нарушения равновесной шероховатости и начала интенсификации процесса изнашивания поверхностных слоев в частотном диапазоне 0...125 Гц представлен цифрой 1 и характеризуется низкой величиной интегральной оценки степени диссипации, нарушение равновесной шероховатости сопровождается возрастанием интегральных оценок, а их максимальное значение соответствует моменту времени 2 теплоотдачи фрикционным контактом. В результате теплоотдачи часть тепла идет в окружающую среду, а часть тепла – на нагрев деталей. В трибосистеме формируются переходные процессы, что приводит к моменту времени 3 потери стабильности. Теплоотдача в окружающую среду уменьшает работу сил трения, а спустя некоторый промежуток времени взаимная корреляционная функция 4 температуры и момента трения начинает повышаться.

Следует отметить, что анализируемые области степени диссипации в частотном диапазоне 0...125 Гц и взаимной корреляционной функции имеют подобные градиенты, а взаимная корреляционная функция температуры и момента трения всегда отстает относительно трибодинамики системы. Аналогичные режимы можно идентифицировать и в остальных областях анализа: моменты времени начала изнашивания, моменты времени теплоотдачи, моменты потери стабильности и повышение корреляционной функции. Такое динамическое поведение, по нашему мнению, свойственно для атермического схватывания, формирования местных мостиков сварки, при которых единичные мостики сварки вызывают единичные моменты потери устойчивости или стабильности.

Для сравнения выполним анализ триботермодинамики в конце эксперимента (рис.4), для которого характерны высокое значение регистрируемой температуры 156°C, дальнейшее сниже-

ние упругих свойств фрикционного взаимодействия и их частое изменение. Так как коэффициент трения постепенно снижается, то это свидетельствует о пластических деформациях, количество разрываемых фрикционных связей превалирует над количеством формируемых фрикционных связей, снижаются касательные напряжения, но возрастает их величина дисперсии.

Как и при атермическом схватывании (см. рис.3), здесь прослеживаются серия разрывов фрикционных связей, потери устойчивости 1, моменты формирования температуры, теплоотдачи 2 при достаточно высоком уровне взаимной корреляционной функции температуры и момента трения 3, формирования новой равновесной шероховатости 4 и механического усталостного изнашивания, однако дисперсия их появления намного выше. Число моментов потери стабильности трибосистемы резко возрастает, процесс теплоотдачи происходит непрерывно (взаимная корреляционная функция положительна), а длительность формирования новой равновесной шероховатости намного уступает длительности ее разрушения. Такое поведение трибосистемы, по нашему мнению, свидетельствует о *термических повреждениях*, образовании местных мостиков схватывания.

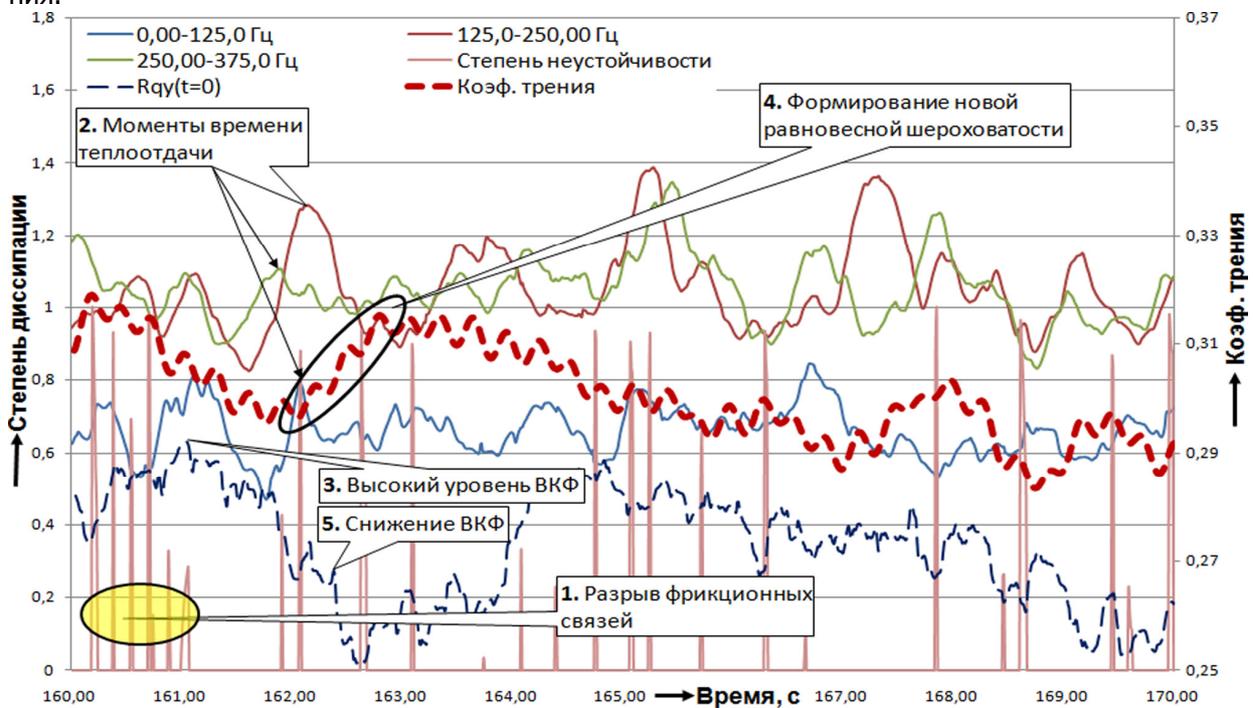


Рис.4. Интегральная оценка степени диссипации трибосистемы по диапазонам частот для *термического схватывания*

Идентификация максимальной температуры «вспышки» на фактической площади касания. Для правильной и эффективной работы противоположной системы необходимо знать критическую длину юза (расстояние между противоположными модулями), при которой в системе «колесо – рельс» при роспуске вагонов с башмачным торможением не происходит термомеханического повреждения.

В.В. Шаповаловым были разработаны основы *экспериментальной триботермодинамики* [3], в основе которой лежат гипотезы о том, что максимальная температура в контакте складывается из трех отдельных температур (объемной, поверхностной и температуры вспышки) [7], а является максимумом объемной температуры тела. Для доказательства этих гипотез и установления требуемого расстояния между противоположными модулями в следующем опыте на тормозной колодке были установлены две хромель-алюмелевые термопары на разном расстоянии от фактической площади касания исследуемых образцов. Для экспериментального определения тем-

пературы вспышки необходимо знать шероховатость поверхности, номинальную и фактическую площади касания, объемную массу тормозной колодки, участвующей в теплопередаче.

Для оценки микрогеометрии поверхности были сняты профилограммы. Имея профилограмму и масштаб ее увеличения (горизонтальное увеличение $\times 80$ и вертикальное $\times 10000$), определяются все параметры шероховатости с помощью программ GRAFULA2.v1 и PROFIL: среднее арифметическое отклонение профиля $R_a=0,337$ мкм; наибольшая высота профиля $R_{\max}=1,546$ мкм; расстояние от линии выступов до средней линии $R_p=0,82$ мкм.

При соприкосновении двух поверхностей контакт не будет сплошным, а внутри некоторой области номинальной области контакта A_a , состоящей из совокупности дискретных пятен контакта (контурная площадь контакта ΔA_c). Размеры и положение пятен фактического контакта площадью ΔA_f зависят от условий контактного взаимодействия, механических характеристик, а также от макро- и микрогеометрии (микрорельефа) взаимодействующих поверхностей. Сумма таких дискретных площадок контакта образует фактическую площадь касания [8] (ФПК), определяющую силовое взаимодействие двух поверхностей, где происходят процессы диссипации механической энергии в тепловую.

Для расчета номинальной площади контакта при исследовании триботермодинамики воспользуемся формулой [7, 9] для случая контакта двух цилиндров с параллельными осями и примем ее в форме прямоугольника со сторонами $l \times b$, где l – ширина ролика, взаимодействующего с тормозной колодкой (0,002 м); b – длина контактной области ролика

$$b = 1,522 \sqrt{\frac{P}{E} / \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)},$$

где P – нагрузка тормозной колодки на ролик при лабораторных исследованиях (300 Н); E – модуль Юнга ($2,1 \cdot 10^{11}$ Па); R_1 – радиус ролика (0,02 м); R_2 – радиус рельса (∞ м)

$$b = 1,522 \sqrt{\frac{300}{0,002 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}} / \left(\frac{1}{0,02} + \frac{1}{\infty} \right)} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,18 \text{ мм},$$

номинальная площадь контакта $A_a=0,36$ мм², а номинальное контактное давление составит $P_a=833$ МПа.

Контурную площадь контакта A_c определим в соответствии с [9]

$$A_c = A_a K_\epsilon K_\omega \left[\sqrt{\frac{2R_\epsilon}{H_\epsilon}} \cdot \theta \cdot P_a \right]^{\frac{\nu_\omega}{\nu_\omega + \delta}},$$

где A_a – номинальная площадь контакта; K_ϵ , ν_ω – коэффициенты, зависящие от распределения волн по высоте ($K_\epsilon=2,4$; $\nu_\omega=3$); K_ω , δ – коэффициенты, учитывающие влияние шероховатости на деформацию волн ($K_\omega=0,8$; $\delta=1,7$); R_ϵ – радиус волны (400 мкм); H_ϵ – высота волны (138 мкм); P_a – номинальное контактное давление; θ – обобщенная постоянная Кирхгофа

$$\theta = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2},$$

μ – коэффициент трения (0,25); E – модуль упругости ($2,1 \cdot 10^{11}$ Па).

Так как оба образца выполнены из стали, то постоянная Кирхгофа

$$\theta = 2 \frac{1 - \mu^2}{E} = 2 \frac{1 - 0,25^2}{2 \cdot 10^{11}} = 0,9375 \cdot 10^{-11}.$$

После подстановки всех имеющихся величин, получаем

$$A_c = 0,36 \cdot 10^{-6} \cdot 2,4 \cdot 0,8 \cdot \left[\sqrt{\frac{2 \cdot 400}{138}} \cdot 0,9375 \cdot 10^{-11} \cdot 833 \cdot 10^6 \right]^{\frac{3}{3+1,7}} = 0,0547 \text{ мм}^2,$$

а контурное давление составит $P_c=5485$ МПа.

Для расчета фактического давления при упругом контакте воспользуемся формулой профессора Н.Б. Демкина [9] для случая контакта шероховатой поверхности с гладкой

$$P_r = (0,43E^*)^{\frac{2\nu}{2\nu+1}} \cdot \left(\frac{2P_c}{t_m}\right)^{\frac{1}{2\nu+1}} \cdot \left(\frac{P_p}{r}\right)^{\frac{\nu}{2\nu+1}},$$

где E^* – приведенный модуль упругости; t_m – коэффициент крутизны кривой опорной поверхности; ν – параметр кривой опорной поверхности, зависящий от вида механической обработки ($\nu = 2t_m \cdot R_p/R_a$); P_c – контурное давление; P_p – расстояние от линии выступов до средней линии; r – радиус выступов шероховатого слоя

$$E^* = \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}\right)^{-1}; \quad E^* = \left(2\frac{1-\mu^2}{E}\right)^{-1} = \left(2\frac{1-0,89^2}{2,1 \cdot 10^{11}}\right)^{-1} = 5,05 \cdot 10^{11},$$

где μ – максимально допустимый коэффициент трения.

Так как в нашем случае контактируют пара шероховатых поверхностей, то используются значения эквивалентных параметров [8]

$$\nu_{12} = (\nu_1 + \nu_2)^{2/3}; \quad t_{m12} = \frac{t_{m1} \cdot t_{m2}}{\nu_{12}};$$

$$R_{p12} = (R_{p1} + R_{p2}) \cdot \left[1 - e^{-\frac{1-\mu_1+\nu_2}{\nu_1}}\right]; \quad r_{12} = \frac{r_1 + r_2}{2},$$

где параметры ν_1, t_{m1}, R_{p1} и r_1 берутся из первой профилограммы, а параметры ν_2, t_{m2}, R_{p2} и r_2 – из второй профилограммы. Получим $\nu_{12}=2,19$; $t_{m12}=0,091$, $R_{p12}=1,482$ и $r_{12}=1654,3$.

В данном случае фактическое давление составит величину

$$P_r = (0,43 \cdot 5,05 \cdot 10^{11})^{\frac{2 \cdot 2,19}{2 \cdot 2,19 + 1}} \cdot \left(\frac{2 \cdot 5485 \cdot 10^6}{0,091}\right)^{\frac{1}{2 \cdot 2,19 + 1}} \cdot \left(\frac{1,482}{1654,3}\right)^{\frac{2,19}{2 \cdot 2,19 + 1}} = 11\,185 \text{ МПа},$$

а фактическая площадь касания $A_r = \frac{300}{11185} = 0,027 \text{ мм}^2$.

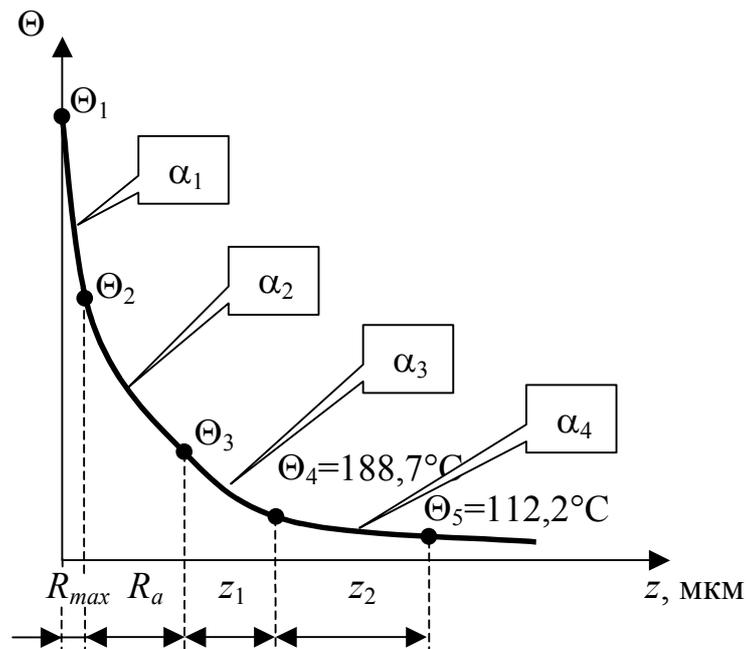


Рис.5. Модель триботермодинамики

Получив расчетным путем значения шероховатости поверхностей, номинальной и фактической площади касания, в соответствии с выдвинутой гипотезой экспериментальной триботермодинамики [3, 6], выполним расчет значения температуры вспышки (рис.5). Исходные данные для расчета:

- плотность стали: $\gamma = 7850 \text{ кг/м}^3 = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ кг/мм}^3$;
- объемная масса, участвующая в теплопередаче, $m_v = 9,68 \cdot 10^{-7} \text{ кг}$;
- расстояние от термопары до фактической площади касания: $z_1 = 2000 \text{ мкм}$;
- расстояние между двумя термопарами: $z_2 = 5000 \text{ мкм}$;
- температура термопары, ближайшей к ФПК $\Theta_4 = 188,7^\circ\text{C}$;
- температура второй термопары $\Theta_5 = 112,2^\circ\text{C}$.

Расчет выполняется в несколько этапов, используя понятие логарифмического декремента колебаний [10] и модели экспериментальной триботермодинамики [6].

1. Вычисляем значения масс, участвующих в теплопередаче:

– контактной массы

$$m_k = A_r \cdot R_{\max} \cdot \gamma = 0,027 \cdot 1,546 \cdot 10^{-3} \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 3,28 \cdot 10^{-10} \text{ кг};$$

– поверхностной массы

$$m_n = A_a \cdot R_a \cdot \gamma = 0,36 \cdot 0,337 \cdot 10^{-3} \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 9,52 \cdot 10^{-10} \text{ кг};$$

– объемной массы, заключенной между термопарой и фактической площадью касания

$$m_{v1} = \frac{z_1}{z_1 + z_2} m_v = \frac{2000}{2000 + 5000} \cdot 9,68 \cdot 10^{-7} = 2,766 \cdot 10^{-7} \text{ кг};$$

– объемной массы, заключенной между двумя термопарами

$$m_{v2} = \frac{z_2}{z_1 + z_2} m_v = \frac{5000}{2000 + 5000} \cdot 9,68 \cdot 10^{-7} = 6,914 \cdot 10^{-7} \text{ кг}.$$

2. Исходя из выражения для логарифмического декремента затухания, для объемной массы m_{v2} рассчитаем:

– темп затухания объемных температур

$$q_4 = \frac{\Theta_5}{\Theta_4} = \frac{112,2}{188,7} = 0,5946;$$

– показатель экспоненты затухания температуры

$$\alpha_4 = \frac{\ln q_4}{z_2} = \frac{\ln 0,5946}{5000} = -1,04 \cdot 10^{-4}.$$

3. В соответствии с выдвинутой гипотезой экспериментальной триботермодинамики, градиент температуры есть величина постоянная [4-6], тогда согласно выражению

$$m_k \alpha_1 = m_n \alpha_2 = m_{v1} \alpha_3 = m_{v2} \alpha_4, \quad (1)$$

определяем характеристики на границе объема:

– показатель затухания объемной температуры

$$\alpha_3 = \alpha_4 \cdot \frac{m_{v2}}{m_{v1}} = -1,04 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{6,914 \cdot 10^{-7}}{2,766 \cdot 10^{-7}} = -2,6 \cdot 10^{-4};$$

– логарифмический декремент затухания объемной температуры

$$\ln q_3 = \alpha_3 \cdot z_1 = -2,6 \cdot 10^{-4} \cdot 2000 = -0,5199;$$

– темп затухания объемной температуры

$$q_3 = e^{-0,5199} = 0,5946,$$

Следовательно, темп затухания температуры в объеме металла не изменился ($q_3 = q_4$), что подтверждает утверждение о постоянстве градиента температуры в объеме металла;

– исходя из формулы темпа затухания, определяем температуру на границе объема

$$\Theta_3 = \frac{\Theta_4}{q_3} = \frac{188,7}{0,5946} = 317,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4. Повторяем аналогичный расчет для поверхностной массы m_n :

– определяем показатель затухания поверхностной температуры на уровне среднего арифметического отклонения профиля R_a в соответствие с (1)

$$\alpha_2 = \alpha_3 \cdot \frac{m_{v1}}{m_n} = -2,6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{2,766 \cdot 10^{-7}}{9,52 \cdot 10^{-10}} = -0,264 ;$$

– логарифмический декремент затухания

$$\ln q_2 = \alpha_2 \cdot R_a = -0,264 \cdot 0,337 = -0,089 ;$$

– темп затухания поверхностной температуры

$$q_2 = e^{-0,089} = 0,91481 ;$$

– поверхностная температура

$$\Theta_2 = \frac{\Theta_3}{q_2} = \frac{317,4}{0,91481} = 346,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

5. Наконец, для определения температуры вспышки в объеме контактной массы m_k :

– вычисляем показатель затухания температуры вспышки на уровне наибольшей высоты профиля R_{\max} в соответствие с (1):

$$\alpha_1 = \alpha_2 \cdot \frac{m_n}{m_k} = -0,264 \cdot \frac{9,52 \cdot 10^{-10}}{3,28 \cdot 10^{-10}} = -0,768 ;$$

– логарифмический декремент затухания

$$\ln q_1 = \alpha_1 \cdot R_{\max} = -0,768 \cdot 1,546 = -1,19 ;$$

– темп затухания температуры вспышки

$$q_1 = e^{-1,19} = 0,30508 ;$$

– температура вспышки

$$\Theta_{\text{всп}} = \Theta_2 = \frac{\Theta_2}{q_1} = \frac{346,9}{0,30508} = 1137,1 \text{ } ^\circ\text{C},$$

что согласуется с анализом цветов побежалости.

Параллельный анализ трибодинамики (рис.6) и термодинамики (рис.7) показал, что в начальный момент времени испытаний упругая деформация активных микрообъемов обуславливает увеличение коэффициента трения 1 и динамических потерь 2 на трение. В результате теплоотдачи в окружающее пространство и износа поверхностных слоев коэффициент трения 3 падает, а градиент температуры 4 уменьшается. Максимальная зарегистрированная величина диссипативных потерь 5 наблюдается на 55,56 с эксперимента, что обуславливает термopовреждение 6 на 66 с эксперимента, а задержка распространения тепла 7 составляет 10,4 с. В результате максимальной величины температуры вспышки 6 область фрикционного контакта охлаждается, а окружающий воздух – нагревается, что обуславливает изменение вектора градиента температуры, рассчитанное значение температуры вспышки 11 оказывается ниже регистрируемой с помощью термopары объемной температуры, а на поверхностях контакта устанавливается новая равновесная шероховатость при высоких пластических деформациях, так как упругие свойства фрикционного контакта снижаются (уменьшение регистрируемого коэффициента трения).

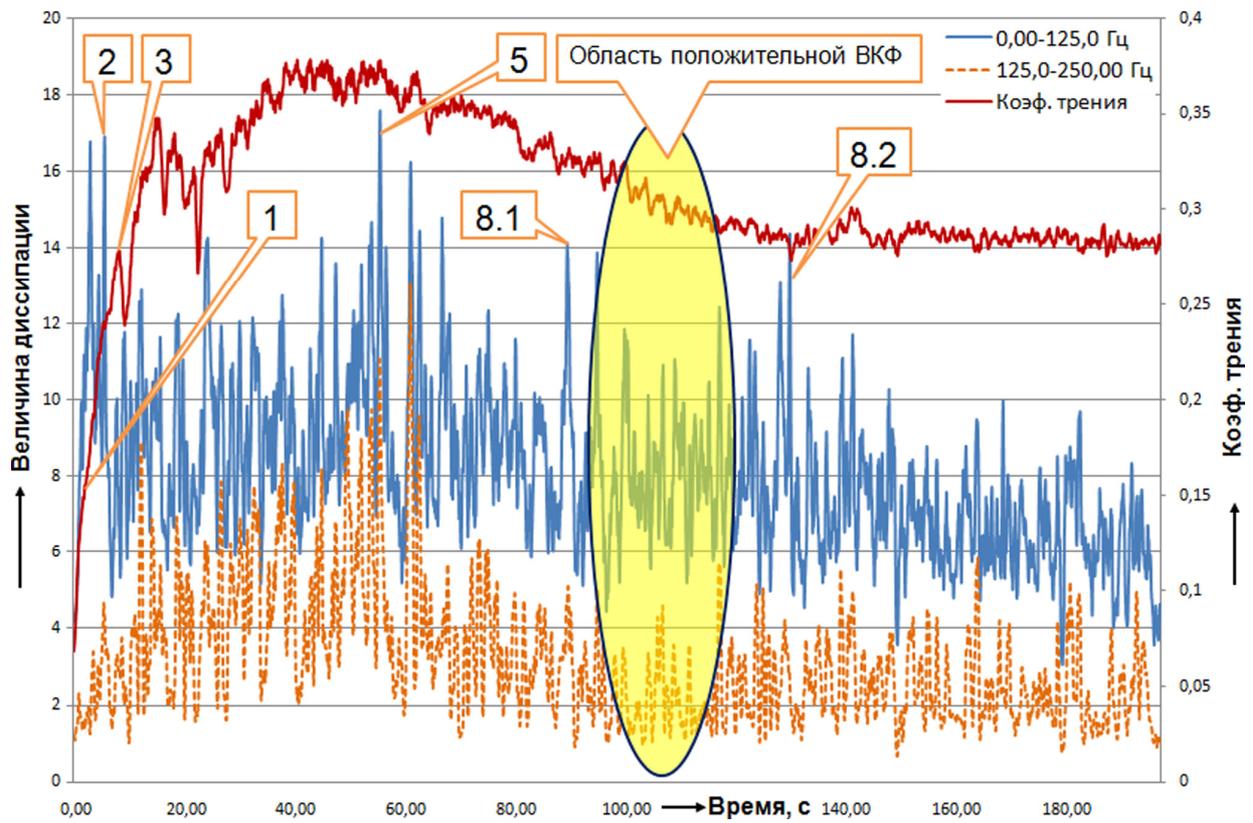


Рис.6. Интегральные оценки величины диссипации трибосистемы по диапазонам частот, соответствующие моделям термодинамики фрикционного контакта

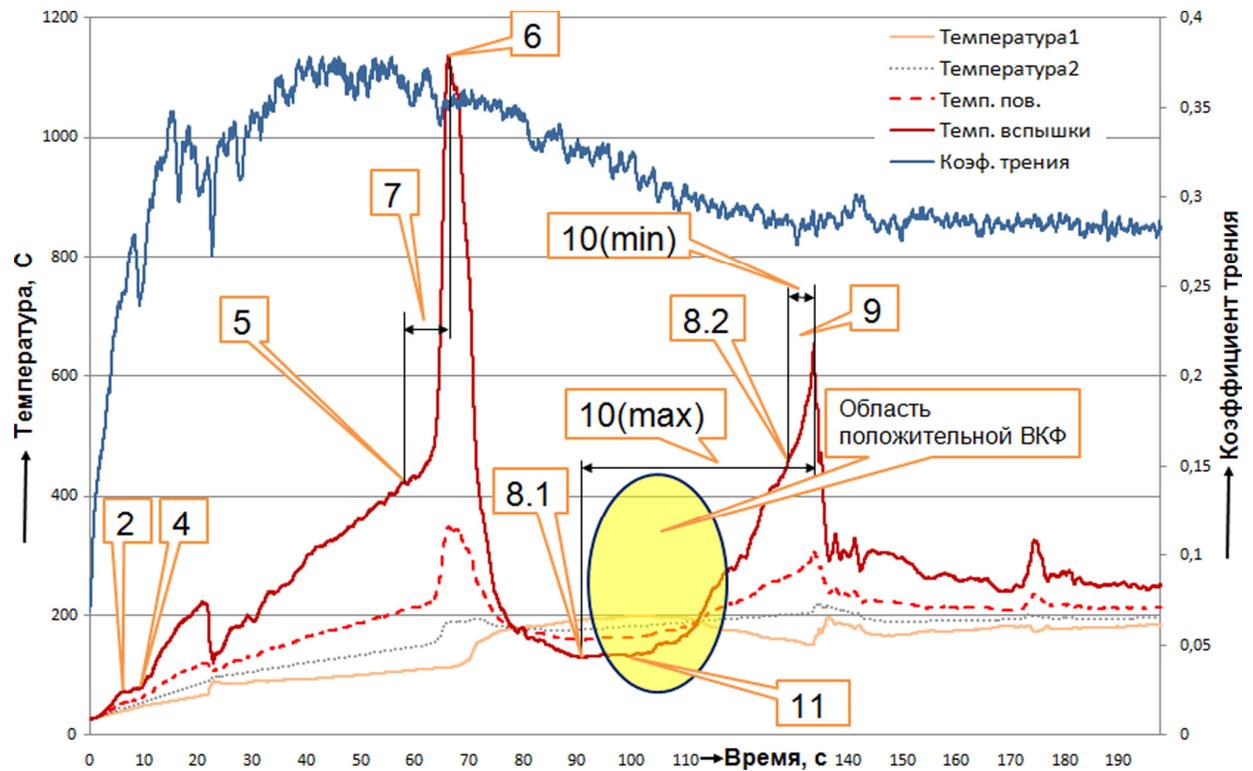


Рис.7. Исследование температуры вспышки в реальном масштабе времени [4-6]

После проведения ряда испытаний на машине трения СМТ-1 на микроскопе были сфотографированы поверхности контактирования испытуемых образцов (ролика и колодки) с 100-кратным увеличением. Результаты приведены на рис.8. На поверхности тел отчетливо видны следы цветов побежалости металла (для стали колесной марки 65 Г синий цвет 1 соответствует температуре порядка 700°C, красный цвет 2 – порядка 400°C, места схватывания металла 3 – порядка 1200°C).

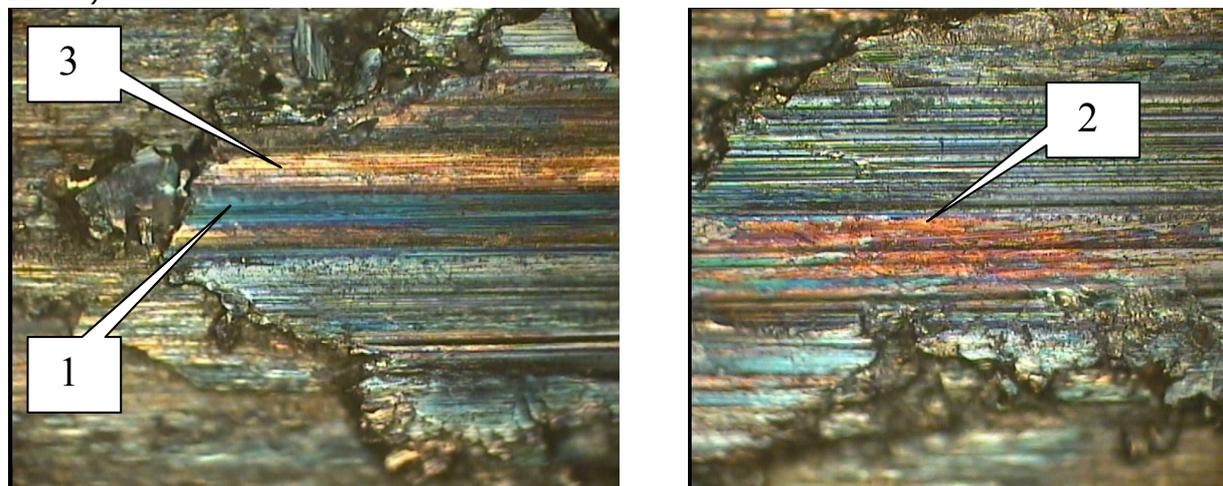


Рис.8. Фотографии поверхностей контактирования ролика и колеса

Зная скорость движения и проанализировав результаты эксперимента, получив время трения, при котором начинает происходить термомеханическое повреждение (5-7 с), найдено максимальное расстояние между разгружающими модулями противозлунной системы (ППС) от 12 до 15 м, при котором гарантированно обеспечивается устранение ползунов. В конструкции ППС-12Д реализуется сервоэффект в виде системы самоусиления клинового типа. При движении колесной пары юзом подбашмаченное колесо гребнем наезжает на модуль и, достигая горизонтального участка, приподнимается, частично разгружая поверхность контакта бандажа подбашмаченного колеса с разгружающей балкой. При этом обеспечивается превышение момента трения неподбашмаченного колеса при взаимодействии его с рельсом над моментом трения подбашмаченного колеса, что ведет в свою очередь к провороту колесной пары. Данная конструкция установлена и работает на сортировочной горке ст. Тихорецкая с 5.02.2010 г. по настоящее время без замены разгружающей балки, срок службы, которой не менее трех лет.

Заключение. Таким образом, реализация экспериментально-теоретических исследований на базе теоретических основ экспериментальной триботермодинамики [3-6] позволяет идентифицировать атермическое и термическое схватывания, прогнозировать появление и развитие пластических деформаций, а также критическое состояние фрикционного контакта, когда развиваются необратимые пластические деформации активных микрообъемов поверхностей трения. Была экспериментально доказана и апробирована на практике выдвинутая гипотеза В.В. Шаповалова об объемной температуре тела, имеющей три зоны состояния, что позволяет использовать ее для предотвращения термоповреждений фрикционных систем.

Библиографический список

1. Пат. РФ, МКП G 01 N 3/56. Способ испытаний узлов трения / В.В. Шаповалов, А.Л. Озябкин [и др.]. – №2343450; заявл. 10.01.2009; приоритет 24.04.2008, №2006121024/28 (022825).

2. Шаповалов В.В. Применение методов физико-математического моделирования и трибоспектральной идентификации для мониторинга фрикционных механических систем / В.В. Шаповалов, А.Л. Озябкин, П.В. Харламов // Вестн. машиностроения. – 2009. – № 5. – С. 49-57.

3. Шаповалов В.В. Проблемы транспортной триботехники: физико-математическое моделирование мобильных фрикционных систем. Часть 1 / В.В. Шаповалов // Трение и износ. – 2009. – №10. – С.3-11.
4. Озябкин А.Л. Выбор информационных каналов для динамического мониторинга аномальных термодинамических процессов в контакте «колесо – рельс» / А.Л. Озябкин, А.А. Александров // Вестник РГУПС. – 2010. – №4. – С.9-20.
5. Озябкин А.Л. Теоретические основы динамического мониторинга фрикционных мобильных систем / А.Л. Озябкин // Трение и износ. – 2011. – №9.
6. Озябкин А.Л. Динамический мониторинг триботермодинамики фрикционных мобильных систем / А.Л. Озябкин // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2011. – №5.
7. Чичинадзе А.В. Расчет и исследование внешнего трения при торможении / А.В. Чичинадзе; под ред. Л.В. Кудрявцева. – М.: Наука, 1967. – 231 с.
8. Чичинадзе А.В. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов. 2-е изд. и доп./ А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
9. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
10. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний / В.Л. Бидерман М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.

Материал поступил в редакцию 05.09.2011.

References

1. Pat. RF, МКР G 01 N 3/56. Sposob ispy`tanij uzlov treniya / V.V. Shapovalov, A.L. Ozyabkin [i dr.]. – #2343450; zayavl. 10.01.2009; prioritet 24.04.2008, #2006121024/28 (022825). – In Russian.
2. Shapovalov V.V. Primenenie metodov fiziko-matematicheskogo modelirovaniya i tribospektral`noj identifikacii dlya monitoringa frikcionny`x mexanicheskix sistem / V.V. Shapovalov, A.L. Ozyabkin, P.V. Xarlamov // Vestn. mashinostroeniya. – 2009. – # 5. – S. 49-57. – In Russian.
3. Shapovalov V.V. Problemy` transportnoj tribotexniki: fiziko-matematicheskoe modelirovanie mobil`ny`x frikcionny`x sistem. Chast` 1 / V.V. Shapovalov // Trenie i iznos. – 2009. – #10. – S.3-11. – In Russian.
4. Ozyabkin A.L. Vy`bor informacionny`x kanalov dlya dinamicheskogo monitoringa anomal`ny`x termodinamicheskix processov v kontakte «koleso – rel`s» / A.L. Ozyabkin, A.A. Aleksandrov // Vestnik RGUPS. – 2010. – #4. – S.9-20. – In Russian.
5. Ozyabkin A.L. Teoreticheskie osnovy` dinamicheskogo monitoringa frikcionny`x mobil`ny`x sistem / A.L. Ozyabkin // Trenie i iznos. – 2011. – #9. – In Russian.
6. Ozyabkin A.L. Dinamicheskij monitoring tribotermodinamiki frikcionny`x mobil`ny`x sistem / A.L. Ozyabkin // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2011. – #5. – In Russian.
7. Chichinadze A.V. Raschyot i issledovanie vneshnego treniya pri tormozhenii / A.V. Chichinadze; pod red. L.V. Kudryavceva. – М.: Nauka, 1967. – 231 s. – In Russian.
8. Chichinadze A.V. Osnovy` tribologii (trenie, iznos, smazka): Uchebnik dlya texnicheskix vuzov. 2-e izd. i dop./ A.V. Chichinadze, E`.D. Braun i dr.; pod obshh. red. A.V. Chichinadze. – М.: Mashinostroenie, 2001. – 664 s. – In Russian.
9. Kragel`skij I.V. Osnovy` raschyotov na trenie i iznos / I.V. Kragel`skij, M.N. Doby`chin, V.S. Kombalov. – М.: Mashinostroenie, 1977. – 526 s. – In Russian.
10. Biderman V.L. Teoriya mexanicheskix kolebanij / V.L. Biderman. – М.: Vy`sshaya shkola, 1980. – 408 s. – In Russian.

PREVENTION OF THERMOMECHANICAL DAMAGE OF WHEEL–RAIL TRIBO-SYSTEM WHEN SKIDDING

A.L. OZYABKIN, A.A. ALEKSANDROV, K.I. SHCHEPANOVSKIY, A.L. VYSHCHEPAN

(Rostov State Transport University)

Some tribo-thermodynamic hypotheses that permit to identify athermal and (or) thermal gripping, to define peak magnitude of the contact temperatures on the actual contact area of the wheel-rail tribo-system, are proved.

Keywords: slides, physic-mathematical simulation, tribo-spectral identification, flash temperature, gripping, face and bulk temperature.