

лопроводности – 380 и 150 Вт/м·К, коэффициент удельной теплоемкости – 383 и 708 Дж/кг·К. Начальный коэффициент трения в контакте увеличен до 0,2.

Чтобы обеспечить реальные условия работы провода, предполагается, что один из его концов закреплен, а у второго отсутствует вертикальное смещение. Сила натяжения провода принята равной 500 Н, сила прижатия вставки к проводу – 140 Н. Считалось, что токоприемник перемещается вдоль провода со скоростью 1 м/с.

Контактная пара назначена фрикционной, несимметричной с формулировкой «Augmented Lagrange». Было определено обязательное наличие контакта между телами в начальный момент времени. Чтобы обеспечить более устойчивый процесс счета, значение коэффициента нормальной жесткости тел по всей поверхности контакта уменьшено в 10 раз до 0,01 по сравнению со значением по умолчанию. Для расчета плотности теплового потока, вызванного кулоновым трением, коэффициент рассеивания энергии принят равным 1. Весовой коэффициент распределения тепла, учитывающий особенности обмена тепла между контактной и целевой поверхностями, считался равным 0,5. Предполагалось, что при температуре 22 °С тела не имеют тепловых деформаций. Также данная температура задана в качестве начальной температуры тел.

Полученная модель позволила рассмотреть тепловыделение и его дальнейшее распределение по объему элементов при контактном взаимодействии, сопровождающемся трением. Отметим, что длительность одноразового расчета для интервала времени 0,5 с составила более 70 часов. В результате вычислений было обнаружено, что наибольший нагрев достигается в зоне контакта, а место пятна нагрева изменяется при движении вставки. Расчеты показали, что повышение температуры вставки в зоне контакта в первые 0,5 с от начала скольжения составляет около 14 градусов, что соответствует реализуемым на практике значениям. Заметное увеличение температуры провода наблюдается только вблизи области контакта. Это соответствует полученным ранее результатам теплового анализа. Данная модель позволила также произвести оценку значений напряжений, возникающих в результате скользящего контакта.

Разработанные модели в последующем могут быть использованы для усовершенствования конструкции узла токосъема.

УДК 621.892, 620.178

## ЭКСПРЕСС-МЕТОД УСКОРЕННОГО ВЫБОРА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

*В. В. КОМИССАРОВ, Е. С. ТАРАНОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Разработан экспресс-метод испытания смазочных материалов при трении качения, в основу которого было положено ускоренное многоступенчатое нагружение испытываемых пар трения в широком диапазоне изменения контактных нагрузок. Отработка экспресс-метода выполнялась при испытаниях моделей зубчатого зацепления (пар трения) из стали 18ХГТ и 25ХГТ и чугуна марки ВЧТГ. Испытания проводили на машине для износоусталостных испытаний СИ-03М по [1] при использовании антифрикционных жидких и пластичных смазочных материалов, а также при сухом трении.

Для реализации программы испытаний задавали начальный уровень контактных напряжений  $p_n = 1206$  МПа ( $F_N = 10$  Н); степень приращения напряжений  $\Delta p_i = \text{const} = 550$  МПа; продолжительность ступени нагружения  $n_i = \text{const} = 10^5$  циклов. В процессе испытаний в автоматическом режиме измеряли величины сближения осей  $\delta_c$ , момента трения качения  $M_k$  и вибраций dВ (определяются общим уровнем шума). По измеренному моменту трения рассчитывали коэффициент сопротивления качению  $f_r$ . В процессе испытаний на каждой ступени нагружения контролировали изменение температуры в зоне контакта образца и контрообразца. Испытания вели непрерывно до заданного числа циклов нагружения ( $10^6$  циклов) или до достижения предельного состояния по одному из пяти параметров ( $F_{N\text{lim}}$ ,  $\delta_{c\text{lim}}$ ,  $dV_{\text{lim}}$ ,  $M_{k\text{lim}}$ ,  $T_{\text{lim}}$ ).

Проведенные испытания сочетаний материалов сталь 18ХГТ / сталь 18ХГТ, сталь 25ХГТ / сталь 25ХГТ, чугун ВЧТГ / сталь 18ХГТ, чугун ВЧТГ / сталь 25ХГТ в среде четырех смазочных материалов и в режиме сухого трения показали, что для пар трения сталь / сталь наилучшие характери-

стики износостойкости наблюдались при использовании графитовой смазки (пластичный смазочный материал), а для пар трения чугун/сталь – при использовании трансмиссионного масла ТАД-17И (жидкий смазочный материал).

При проведении таких испытаний главным образом ставятся и решаются две задачи: 1) для заданной пары трения реализуется ускоренный выбор смазочного материала; 2) под заданную смазку осуществляется сочетание материалов пары трения. Конечным итогом является получение паспорта работоспособности либо смазочного материала, либо конкретной пары трения при заданной программе нагружения. Данный паспорт может быть использован как регламентирующий документ для выбранного метода испытания смазочных масел и узлов трения при контактной усталости.

Апробация методики произведена в рамках работ по обоснованию замены крупногабаритных (диаметр до 0,5 м) стальных эпициклических шестерен на эпициклические шестерни из чугуна марки ВЧТГ. Для оценки достоверности полученных экспериментальных данных, при реализации разработанной методики, проводились сравнительные натурные испытания эпициклических шестерен из чугуна марки ВЧТГ и стали 25ХГТ. В опытную эксплуатацию было запущено 11 бортовых редукторов, укомплектованных зубчатыми колесами из чугуна марки ВЧТГ, наработка которых составила 298–444 моточасов. Замечаний по работе редукторов в процессе эксплуатации не поступало; повреждений эпициклических шестерен не наблюдалось. С целью сравнительного эксплуатационного исследования на один из экспериментальных комбайнов КВК-800 (№ 751) одновременно были установлены чугунная (левый бортовой редуктор № 1420, рисунок 1, а) и стальная (правый бортовой редуктор № 1417, рисунок 1, б) эпициклические шестерни. Анализ рабочих поверхностей, указанных шестерен после работы в течение одного сезона представлен на рисунке 1, в и г.

Сравнение характеристик нового (содержание механических примесей 0,006) и отработанного масел (содержание механических примесей: 0,22 – чугунный эпицикл; 0,63 – стальной эпицикл) показало, что у отобранного из редуктора с чугунной шестерней масла после наработки число механических примесей в 3,5 раза меньше в сравнении с маслом из редуктора со стальным эпициклом. Это подтверждает меньшую степень поврежденности рабочей поверхности зубьев чугунной шестерни по сравнению со стальной при одинаковых эксплуатационных условиях.



Рисунок 1 – Общий вид комбайна КВК 800 (№ 751) в условиях эксплуатации и эксплуатационные повреждения зубьев эпицикла из чугуна марки ВЧТГ (а, в) и стали (б, г)

Проведенные ускоренные испытания моделей зубчатого зацепления чугун/сталь и сталь/сталь на контактную усталость в среде нового и отработанного трансмиссионного масла показали, что пара трения с высокопрочным чугуном марки ВЧТГ в данных условиях имеет более низкие значения коэффициента сопротивления качению и момента трения качения.

Основные результаты работы.

1 Разработан экспресс-метод испытания смазочных материалов, главные особенности которого состоят в том, что: а) производится ступенчатое нагружение пары трения с установленным регламентом повышения контактного давления  $\Delta p_0$  и  $\Delta t$  на каждой ступени; б) обеспечивается определение (в одном опыте) четырех взаимообусловленных параметров трения:  $M_t$ ,  $f_r$ ,  $\delta_c$ , dB (тяговая –  $M_t$ , физическая –  $f_r$ , состояние повреждаемости –  $\delta_c$ , dB); в) скорость трения  $v_{тр} = \text{const}$  на всех ступенях нагружения.

2 С использованием данного метода разработана процедура построения паспорта служебных свойств смазки (материала), содержащая три экспериментально установленных зависимости при  $v_{тр} = \text{const}$ : 1)  $\delta_c - p_0$ ; 2)  $f_r - p_0$ ; 3)  $M_t - p_0$ ; 4) dB –  $p_0$  которые строятся в широком диапазоне изменения контактного давления  $p_0$  ( $F_N$ ). Такой паспорт дает исчерпывающую информацию о работоспособности смазочного материала при заданных условиях нагружения.

3 Проведенный по разработанному экспресс-методу комплекс сравнительных экспериментальных исследований пар трения сталь / сталь и сталь / чугун ВЧТГ подтвердил обоснованность замены стальных зубчатых колес на колёса, изготавливаемые из чугуна ВЧТГ, и возможность использования трансмиссионного масла ТАД-17И.

#### Список литературы

1 ГОСТ 30755-2001. Трибофатика. Машины для износоусталостных испытаний. Общие технические требования. – Введ. 2002-07.01. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002. – 8 с.

УДК 004.89

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*С. В. КОРКИНА, А. В. ЖЕБАНОВ, И. А. КРАСНОВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Основным стратегическим направлением деятельности холдинга ОАО «РЖД» является обеспечение гарантированной безопасности движения, сохранности подвижного состава и грузов, жизни людей в процессе решения всех производственных задач и реализации производственных процессов. Кроме того, ОАО «РЖД» нацелено на повышение качества обслуживания клиентов и позиционирует себя как клиентоориентированная компания. В настоящее время значительное внимание уделяется внедрению и развитию современных информационных технологий во все сферы деятельности компании [1, 2], холдинг является одной из передовых крупнейших организаций, применяющих цифровые технологии, реализует проект «Цифровая железная дорога» [3–5].

Цифровые технологии внедряются на всех уровнях и во все производственные процессы, реализуемые ОАО «РЖД»: в обучение и повышение квалификации персонала [6, 7], организацию документооборота, технологические процессы ремонта и технического обслуживания инфраструктуры [3, 5], перевозочный процесс, работу станций и т. д.

Особое внимание уделяется развитию и расширению внедрения современных информационных и цифровых технологий при контроле технического состояния подвижного состава на ходу поезда и при техническом обслуживании на ПТО: создание интегрированных постов контроля с применением автоматизированных систем, формирование единого информационного пространства с последующей возможностью создания цифровых двойников единиц подвижного состава, отдельных ответственных узлов и элементов [8].

На полигоне Куйбышевской железной дороги планируется создание интегрированных постов на подходах к ПТО станции Дема, Кинель и др., что позволит обеспечить требуемый уровень автома-