

РУХОМІЙ СКЛАД

УДК 629.4.067.3:629.4.027.11

Борзилов И.Д., к.т.н. (УкрГАЗТ)
Петухов В.М., инженер (УкрГАЗТ)

**ТЕПЛОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ЗОНЫ БУКС
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Постановка проблемы. Техническое состояние и работоспособность буксовых узлов определяются главным образом температурой нагрева подшипников. От нее зависят температура шейки оси, значения внутренних зазоров, вязкость и срок службы смазки.

Различный эксплуатационный нагрев элементов подшипников вызывает температурные деформации, которые, уменьшая рабочие зазоры, могут привести к защемлению (заклиниванию) роликов между кольцами и разрушению буксового узла.

Букса может нагреваться в результате внезапных отказов подшипников качения, которые, хотя и не носят массовый характер, представляют угрозу безопасности движения поездов. Причинами таких отказов являются дефекты металла, нарушения технологии механической и термической обработки подшипников, из-за которых в кольцах создаются повышенные остаточные напряжения, неправильный подбор колец по шейке оси и роликов по размерам групп, недостаточное усилие затяжки торцевой гайки, усталостные повреждения — раковины и электроожоги па дорожках качения колец и др.

На работу буксовых узлов большое влияние оказывает температура наружного воздуха. В зимние месяцы число отцепок вагонов по неисправности подшипников по сравнению с летними возрастает, что связано с увеличением динамических нагрузок на буксовые узлы из-за повышения жесткости пути.

Поэтому температура буксового узла является важнейшим критерием, характеризующим техническое состояние подшипников. Изучение процессов теплообразования и теплопередачи, происходящих в

работающем буксовом узле, имеет большое значение при решении практических задач автоматизации диагностики букс на ходу поезда.

Цель исследования состоит в определении методики поиска тепловых информативных зон буксовых узлов для оптимального размещения температурных датчиков непосредственного контроля букс на ходу поезда.

Анализ предыдущих исследований. В настоящее время задача обнаружения перегретых букс методом улавливания инфракрасного (ИК) излучения от элементов колесной пары или корпуса буксового узла осложняется тем, что основная зона тепловыделения буксового узла (зона трения подшипника о шейку оси колесной пары) недоступна для прямого контроля, а измеряемые параметры лишь косвенно отражают степень нагрева шейки оси.

Проведенные исследования показали, что в большей степени нагревается верх корпуса буксы [1], [2]. Однако конструктивные особенности отечественного подвижного состава делают эту часть буксы скрытой от приемника ИК-излучения. Вариант с ориентацией оптической системы на предподступичную часть оси колесной пары позволяет контролировать непосредственно нагрев шейки оси, но он не может быть реализован из-за значительных поперечных смещений буксового узла и колесной пары. Наиболее распространена ориентация оптической системы аппаратуры на смотровую крышку и верх задней (относительно направления движения) стенки корпуса буксы, но это не самые информативные зоны, хотя и наиболее доступные для мониторинга.

Результаты теоретических исследований. Нагрев буксовых подшипников возникает вследствие трения качения роликов по кольцам, трения смазки о детали подшипников и трения скольжения торцов роликов о борта колец. Выделяющееся в процессе работы подшипников тепло расходуется на повышение температуры самих подшипников, смазки, шейки оси, корпуса буксы, сопряженных с осью элементов колес, при этом часть тепла рассеивается через поверхности буксового узла и колесной пары в окружающую среду. Причем 77% тепловой энергии от греющегося подшипника поглощается массой колес и оси колесной пары, 22% поглощается массой оси. Приблизительно такое же количество энергии (23%) поглощается корпусом буксы [1]. При этом температура разных зон корпуса буксы из-за неоднородности элементов ограждения и условий теплообмена различна.

Наиболее высокую температуру имеют ролики и сепараторы, затем (в порядке убывания) внутренние и наружные кольца, шейка оси, корпус

буксы и ступица колеса. Разность температуры роликов и наружного кольца в эксплуатации составляет 25—40 °С, но может достигать 70 °С.

В то же время основным критерием аварийности буксового узла является уровень нагрева шейки оси колесной пары. В этих условиях вероятность правильной оценки состояния контролируемого объекта зависит от связи между параметрами измеряемого элемента и истинным состоянием объекта, т. е. вероятность пропуска аппаратурой перегретой буксы будет функцией коэффициента связи r температур шейки оси и измеряемого объекта

$$p_{\text{пр}} = f(r).$$

При этом вероятность правильного обнаружения перегретой буксы будет тем выше, чем больше коэффициент связи.

Элементы контроля должны отвечать следующим условиям: иметь возможно большую температуру нагрева и с достаточной точностью характеризовать степень нагрева шейки оси колесной пары, при этом аппаратура контроля должна быть достаточно простой.

Тепло, выделяющееся в работающих подшипниках, $dQ_{\text{выд}}$ (Дж) расходуется на нагревание буксового узла и сопряженных с ним элементов колесной пары $dQ_{\text{нагр}}$, а часть его отводится через наружные поверхности буксы, оси и колеса в окружающую среду $dQ_{\text{отв}}$.

Уравнение теплового баланса для такого режима теплопередачи [3]

$$dQ_{\text{выд}} = dQ_{\text{нагр}} + dQ_{\text{отв}}. \quad (1)$$

Количество тепла, выделяющегося в подшипниках в результате действия сил трения, определяется по формуле:

$$dQ_{\text{выд}} = P \cdot f_{\text{пр}} \cdot \frac{D_n}{D_k} \cdot \vartheta_n \cdot d\tau, \quad (2)$$

где P — нагрузка на буксу, Н;

$f_{\text{пр}}$ — приведенный коэффициент трения, учитывающий суммарное трение качения и скольжения рабочих поверхностей подшипников, сопротивление смазки и трение роликов с сепаратором;

D_n — диаметр подшипника, м;

D_k — диаметр колеса, м;

ϑ_n — скорость поезда, м/с;
 $d\tau$ — время работы подшипника, с.

Количество тепла (Дж), расходуемого на нагревание смазки, деталей буксового узла и элементов колесной пары:

$$dQ_{нагр} = \sum_{i=1}^n c_i p_i dT_i, \quad (3)$$

где c_i — удельная теплоемкость смазки [Дж/(кг·К)] деталей буксового узла, элементов оси и колеса массой p_i , кг;

dT_i — изменение температуры смазки, деталей буксового узла и элементов колесной пары, К; ($T_i = 273 + t_i$ °C).

Количество тепла (Дж), отведенное через наружные поверхности буксы, оси и колеса в окружающую среду:

$$dQ_{оме} = \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i (T_i - T_{не}) d\tau, \quad (4)$$

где α_i , F_i — коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м²·К) с площади наружных поверхностей элементов, м²;

T_i — температура наружных поверхностей, К;

$T_{не}$ — температура наружного воздуха, К.

Подставив (2), (3) и (4) в уравнение теплового баланса (1), после преобразований получим

$$\frac{dT_i}{d\tau} = \frac{P \vartheta_n D_n f_{np}}{D_k \sum_{i=1}^n c_i p} - \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i F_i (T_i - T_{не})}{\sum_{i=1}^n c_i p_i}. \quad (5)$$

Из выражения (5) видно, что увеличение температуры элементов буксового узла, оси и колеса за единицу времени $d\tau$ прямо пропорционально нагрузке на буксу, скорости движения поезда, коэффициенту трения в подшипниках и обратно пропорционально полной теплоемкости нагреваемых тел $C = \sum_{i=1}^n c_i p_i$, при этом, чем больше охлаждающая способность среды ($T_i - T_{не}$), теплоотдача и площадь наружных поверхностей корпусов букс, элементов оси и колеса, тем ниже их температура нагрева[4].

Другой проблемой теплового контроля, особенно характерной для высокоскоростных поездов, является влияние на температуру подшипника аэродинамических качеств тележки. Известно, что и в тележках грузовых вагонов и типовых пассажирских тележек скорость воздуха в пограничном слое (на поверхности обдуваемых деталей при движении) на первой оси выше, чем на второй. Это определяет то, что на поверхности буксы первой оси теплоотдача выше, чем на корпусе второй оси. Поэтому температура корпуса первой буксы несколько ниже, чем на второй оси. Различие в средних уровнях нагрева букс грузовых вагонов и пассажирских типовых составляет 1-3 кванта в единицах систем теплового контроля. Однако опыт эксплуатации тележек модели 4076 пассажирских вагонов высокоскоростных поездов «Невский экспресс», «Буревестник», в которых установлены кассетные подшипники в корпус стандартной буксы, показывает, что уровень нагрева нечетных осей и четных осей по показаниям КТСМ-01 различаются в 1,5-2,5 раза. При смене направления движения поезда, когда поезд возвращается, «холодные» оси становятся «горячими», а «горячие» - «холодными», так как меняется их расположение по отношению к воздушному потоку[5].

Таким образом, прямой контроль состояния буксовых узлов, заключающийся в установке термодатчиков непосредственно внутри буксы, способен обеспечить максимальный коэффициент связи γ и исключить влияние внешних атмосферных, аэродинамических и иных факторов на точность теплового мониторинга[6],[7].

Для поиска оптимальных решений размещения тепловых датчиков и их количества в элементах различных типов буксовых узлов можно предложить апробированный комплекс вычислительных процедур, составляющих термомеханическую модель работы подшипника и буксового узла[8],[9].

Данная математическая модель реализовывает следующие этапы:

1. Определение угловых и линейных скоростей деталей подшипника;
2. Расчет распределения нагрузок по телам качения подшипника;
3. Расчет тепловых потоков, действующих на поверхности подшипника;
4. Разработка конечноэлементной модели буксового узла для теплового расчета;
5. Расчет эквивалентных теплофизических свойств комплекса «ролики - сепаратор - смазка»;
6. Стендовые испытания с имитацией загрузки и работы подшипников для определения теплового состояния корпуса буксы и подшипников;

7. Тепловой расчет буксового узла на конечноэлементной модели при воздействии тепловых потоков в подшипнике и внешних граничных условий обдува.

Разработка конечноэлементной модели для исследования температурных полей буксового узла проводится в программном комплексе ANSYS, NASTRAN. Для учета обдува буксы, распределение коэффициентов теплоотдачи на внешних поверхностях определяется по полученным в программном комплексе Flo Works скоростям обтекания в пограничном слое.

На предлагаемой термомеханической модели проводятся исследования по выбору рациональных зон теплового контроля и критериев диагностики буксовых узлов по следующему алгоритму (см. рисунок 1)



Рисунок 1 – Структурно-логическая схема решения задачи размещения датчиков тепловой диагностики букс.

Вывод. В последние годы наметилась тенденция разработки принципиально новых конструкций подвижного состава (специализированного, для высоких скоростей движения, повышенной комфортности, повышенной грузоподъемности и др.), а также закупки зарубежных моделей подвижного состава. Технология непосредственного контроля букс позволит организовать тепловое диагностирование буксовых узлов по единому алгоритму независимо от типов ходовых частей конструкционных единиц подвижного состава.

Список литературы

1. Информационные характеристики некоторых элементов колесной пары и буксового узла/ Лозинский С.Н., Самодуров В.И., Трестман Е.Е., Шайдуров П.С., Шалда В.С. // «Автоматизация контроля ходовых частей вагонов при движении поезда». Труды ЦНИИ МПС, вып. 494, 1973, С. 10-16.
2. Трестман Е.Е., Лозинский С.Н., Образцов В.Л. Автоматизация контроля буксовых узлов в поездах. – М.: Транспорт, 1983. – 352 с.
3. Тепловой баланс вагонной буксы/ А.И.Поляков. // «Работа вагонных букс с роликовыми подшипниками при высокоскоростном движении». Труды ВНИИЖТ, 1970, вып. 405, С. 80—88.
4. Проблемы теплового контроля кассетных подшипников в высокоскоростных поездах/ Миронов А.А., Образцов В.Л., Павлюков А.Э. // Труды VII Научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», Москва, МИИТ, октябрь 2006 г. - С. VI 16-17.

УДК 531.384

*Мосияш Т.А., к.ф.-м.н., доцент (ДонИЖТ)
Коваль В.И., к.ф.-м.н., доцент (ДонНАСА)*

**О КОНУСЕ ОСЕЙ РАВНОМЕРНЫХ ВРАЩЕНИЙ
НЕСИММЕТРИЧНОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА
С ПОЛОСТЬЮ, НАПОЛНЕННОЙ ЖИДКОСТЬЮ**

Исходные соотношения. Тяжелое твердое тело, движущееся вокруг неподвижной точки O , имеет эллипсоидальную полость, целиком заполненную однородной несжимаемой идеальной жидкостью. Пусть в