

КОНТРОЛЬ НАГРЕВА БУКС И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

На железных дорогах России эксплуатируются повсеместно напольные системы КТСМ бесконтактного теплового контроля буксовых узлов проходящих поездов. Системы аналогичного назначения широко используются и за рубежом. Системы основаны на контроле уровня инфракрасного излучения (ИК) буксовых узлов проходящих поездов.

По уровню нагрева буксовых узлов косвенно принимается решение о состоянии (нагреве) подшипников колесных пар. При этом важным моментом является то, какие детали буксового узла попадают в зону сканирования приемника ИК-излучения, расположенного в специальной напольной камере, размещенной около рельса. Очевидно, что напольная камера и ИК-приемник не могут менять своего положения в пространстве и тем самым ориентацию ИК-приемника в зависимости от типа проходящего подвижного состава. В связи с этим отечественные системы теплового контроля ориентированы в основном на сформировавшийся годами типаж грузового и пассажирского подвижного состава.

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. Данная тенденция должна сопровождаться проверкой на стадии проектирования контролепригодности новых конструкций к диагностике системами бесконтактного теплового контроля и на этой основе разработкой требований, которые впоследствии могут служить фундаментом для разработки алгоритмов диагностирования. К сожалению, разработчики новых конструкций не уделяют этому внимания, обосновывая это: отсутствием требований подобного рода в техническом задании, предъявляемом заказчиком подвижного состава.

Разнообразие создаваемых конструкций тележек обуславливает разнообразие факторов, влияющих на тепловой контроль:

- различие в конструкциях корпусов букс разных моделей тележек;
- разные размеры баз тележек, что требует разных моделей управления включения аппаратуры для контроля при проходе поезда;
- наличие в конструкции одной модели тележки разных конструкций корпусов букс на первой и второй осях и вследствие этого считывания теплового излучения ИК-приемником с разных зон буксового узла, имеющих разный нагрев;
- наличие у буксы кронштейнов и других конструктивных элементов, закрывающих ИК-приемнику обзор непосредственно корпуса буксы;
- существование в тележках пассажирских вагонов надбуксового подвешивания с использованием различных упру-

гих и диссипативных элементов, закрывающих ИК-приемнику обзор корпуса буксы;

— наличие таких аэродинамических свойств рамы тележки, которые существенно определяют разный нагрев подшипников и корпусов букс на первой и второй осях тележки.

Игнорирование данных факторов приводит к серьезным проблемам при эксплуатации и подвижного состава в плане тепловой диагностики. Первые проблемы возникли при эксплуатации скоростного пассажирского поезда «Невский экспресс» на тележках модели 68-4076 и 68-4095 (рис. 1), эксплуатируемых на подшипниках кассетного типа. Статистический анализ показаний средств теплового контроля (СТК) на буксы данного поезда показал, что уровни нагрева на нечетных осях меньше, чем на четных осях, в среднем в 2 раза (рис. 2). При этом обычная средняя разница уровней нагрева между осями на типовых тележках пассажирских и грузовых вагонов составляет не более 10%. Таким образом,

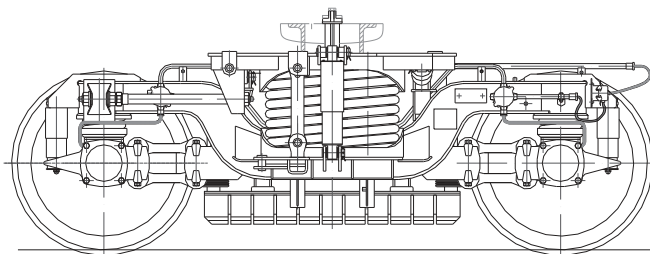


Рисунок 1 — Общий вид тележки модели 68-4076 (с чертежа ТВЗ)

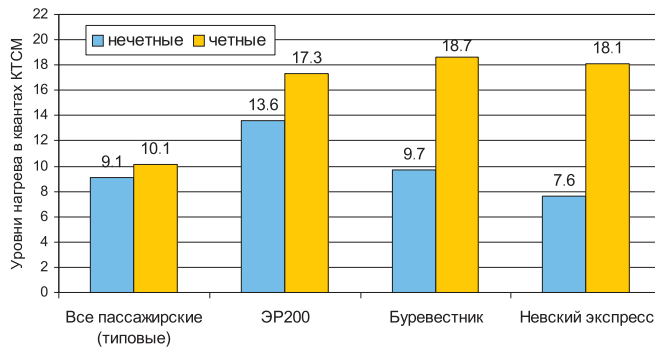


Рисунок 2 — Средние значения уровней нагрева буксовых узлов разных типов пассажирских вагонов на четных и нечетных осях



на данных тележках, если использовать одни и те же пороговые значения работоспособности букс по нагреву, по четным осям возможны ложные показания средств теплового контроля на работоспособные подшипники, а по нечетным осям возможно маскирование перегретых подшипников. В первом случае это может привести к необоснованным задержкам, а в другом случае — к появлению аварийных ситуаций. Ситуация усугубляется также и тем, что на данных тележках установлены конические подшипники кассетного типа, обладающие повышенным нагревом и непродолжительным опытом использования и поэтому неотработанными критериями отбраковки по температурному признаку.

Авторами предложен и выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований по решению данной проблемы (рис. 3).

Применительно к тележке модели 68-4076, следуя схеме исследований (см. рис. 3), была построена упрощенная (в силу того объема чертежей, которые предоставил Тверской вагоностроительный завод) трехмерная модель тележки, которая исследовалась на аэродинамику в программном комплексе FLO WORKS. Имитировалось движение тележки со скоростью 180 км/ч за счет моделирования встречного потока воздуха с соответствующей скоростью. Анализ результатов,

представленных на рис. 4 в виде полей скоростей обтекания на поверхностях тележки, показывает, что по различным поверхностям корпуса буксы, скорости обтекания на первой оси в 1,3—2 раза выше. Это приводит к тому, что теплоотдача от буксы с соответствующих поверхностей в атмосферу на первой оси выше, чем на второй, а значит, температура этих поверхностей при одних и тех же технических состояниях подшипников будет ниже на первой оси, чем на второй. Выполненные расчеты на термомеханической модели буксового узла [1] позволили получить тепловые потоки, которые с применением программного комплекса ANSYS позволили провести расчеты температурных полей в буксовых узлах первой и второй осей (рис. 5) с учетом граничных условий теплоотдачи с поверхности.

Температуры в контрольных точках обеих буксовых узлов, обозначения которых показаны на рис. 5, при различных температурах наружного воздуха и скорости движения 180 км/ч приведены в табл. 1. Приведенные результаты наглядно показывают, что нагрев букс различный, если сравнивать относительные температуры (разница между абсолютной и температурой воздуха) деталей букс первой и второй осей, то получим, что соотношение этих температур по осям составляет 1,3—1,7 в зависимости от выбранной зоны на корпусе буксы или подшипника.

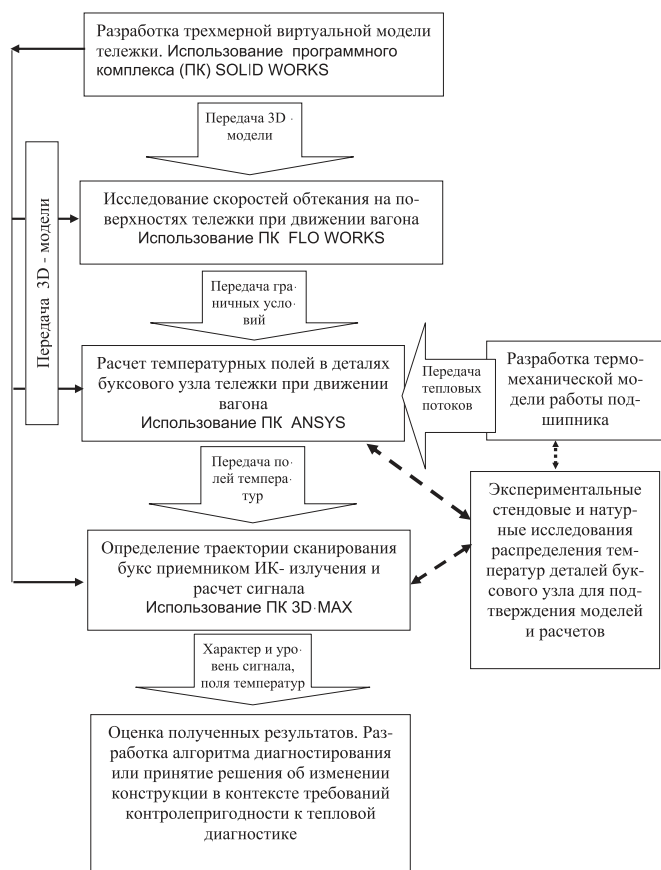


Рисунок 3 — Принципиальная схема исследований высокоскоростных тележек пассажирского подвижного состава в контексте теплового контроля

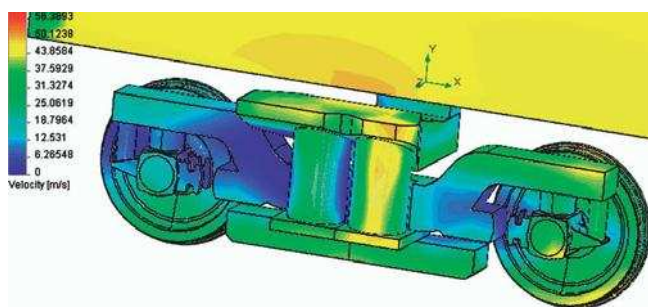


Рисунок 4 — Поля скоростей обтекания на поверхностях модели тележки 4076 при движении вагона со скоростью 180 км/ч

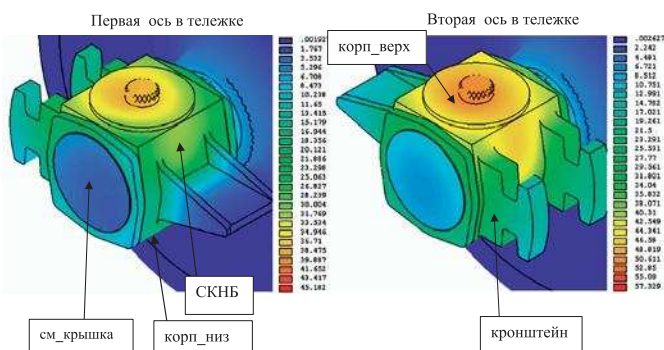


Рисунок 5 — Расчетные температурные поля на корпусах букс первой и второй осей тележки 4076 при движении со скоростью 180 км/ч при температуре наружного воздуха 0 °С (обозначения названия и места контрольных точек для сравнения букс)

Таблица 1 — Значения расчетных температур в контрольных точках корпусов букс первой и второй осей тележки 4076 в зависимости от температуры воздуха при движении со скоростью 180 км/ч

Температура наружного воздуха	Температура контрольных точек, °С											
	см_крышка		Корп_верх		корп_низ		СКНБ		кронштейн		нар_кол_под	
	1 ось	2 ось	1 ось	2 ось	1 ось	2 ось	1 ось	2 ось	1 ось	2 ось	1 ось	2 ось
-40	-35	-34	7	25	-11	4	-4	15	-13	-3	19	35
-30	-24	-25	13	28	-4	10	5	20	-5	4	23	38
-20	-15	-16	18	32	3	16	11	25	2	10	28	41
-10	-7	-6	24	37	12	22	18	31	9	17	33	45
0	3	6	32	43	23	31	26	37	17	25	39	51
10	13	14	40	51	30	36	35	44	27	33	48	59
20	23	25	49	59	39	45	44	52	36	42	56	66
30	32	34	57	67	46	55	52	61	45	51	65	75
40	42	43	66	76	56	63	61	69	54	60	73	83
Среднее отношение относительных температур на 2 и 1 осях Расчетное (экспериментальное)	1,70		1,36		1,39		1,38 (1,28)		1,39		1,3	

Для подтверждения результатов расчета и изучения температуры в реальных условиях проводились экспериментальные исследования по измерению температур буксовых узлов поезда «Невский экспресс». Испытания проводились во время рейсовых поездок поезда 01.04.06 на вагоне № 325436, в котором установлены в буксовых узлах кассетные подшипники фирмы «Бренко». Измерения проводились с помощью автономных датчиков — термометров Dallas Semiconductor с памятью на основе устройства iButton DS 1921, установленных при испытаниях на внешние детали буксового узла с помощью магнитного крепления. В качестве контрольной точки установки термодатчиков (рис. 6) была выбрана зона, близлежащая к зоне, в которой устанавливаются штатные датчики системы контроля нагрева букс (СКНБ). В этой же зоне определялись расчетные температуры (см. рис. 5 и табл. 1). Запись показаний температур велась на всем цикле «движение в Моск-

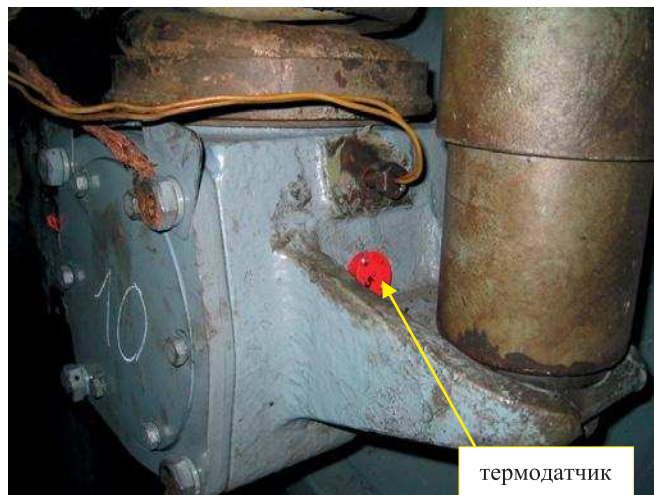


Рисунок 6 — Установка термодатчика на первой буксе тележки 4076 при испытаниях

ву из Санкт-Петербурга — стоянка — движение из Москвы в Санкт-Петербург», что отражено в виде графика изменения температур во времени в контрольных точках СКНБ (рис. 7) на четырех буксах, расположенных с одной стороны вагона.

Из зависимостей, приведенных на рис. 7, видно, что при движении поезда в одну сторону четные оси более нагретые, а при изменении направления движения поезда после стоянки эти же оси становятся менее нагретыми, так как становятся уже нечетными. Отношение математических ожиданий относительных температур букс в контрольных точках, например на осях второй по ходу движения (голубой ни рис. 7) и первой (зеленый ни рис. 7), при установившемся тепловом режиме работы букс при движении из Санкт-Петербурга составляет 1,28 (расчетное — 1,38, см. табл. 1).

Поскольку на уровень сигнала влияет то, какие зоны поверхности буксы попадают в зону сканирования ИК-приемником, то после теплового расчета, следуя схеме исследований (см. рис. 3), выполнялось с использованием трехмерных компьютерных моделей определение траектории сканирования букс тележки при ее движении приемником ИК-излучения средства теплового контроля КТСМ-01. То есть моделировалась ситуация проследования буксового узла через зону контроля приемника ИК-излучения. При этом решалась геометрическая пространственная задача определения траектории «пятна». «Пятно» образуется в каждый момент времени динамического пересечения поверхности буксового узла с зоной контроля приемника, выраженной в пространстве сферическим конусом с телесным углом, вершина которого находится в точке, из которой исходит оптическая ось приемника. Определение траектории «пятна» производилось на виртуальной модели тележки в программном комплексе 3D MAX. Результаты пространственного моделирования траектории сканирования для КТСМ-01 представлены в виде отдельных фиксированных кадров положения «пятна» на рис. 8. С полученной траектории по корпусу буксы и рассчитанных тепловых полей на корпусе буксе определялась осциллограмма условного сигнала, возникающего на приемнике, по интегральной температуре в «пятне» (см. рис. 8). Аналогичным образом определялась траектория сканирования букс на первой и второй осях ИК-приемником аппаратуры теплового контроля КТСМ-02 (рис. 9). Напомним, что у

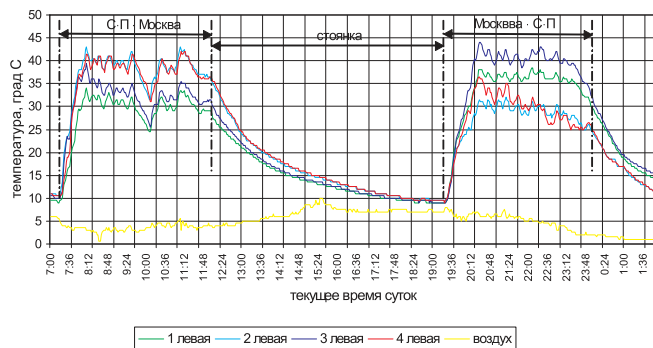


Рисунок 7 — Графики изменения во времени температур буксовых узлов в зоне установки СКНБ, полученные на тележках модели 68-4076 во время поездки «Невского экспресса» с левой стороны вагона № 32546



КТСМ-02 приемник ориентирован на нижнюю часть корпуса буксы, в отличие от КТСМ-01, у которого приемник ориентирован на лицевую часть корпуса (крышку).

Рассчитанные осциллограммы сигналов для буксы на первой и второй осях тележки (см. рис. 8) наглядно показывают, что у КТСМ-01 сигнал с буксы на первой оси по амплитудному значению (принимаемому в качестве оценочного) при оценке по интегральным температурам в 2,05 раза меньше, чем буксы на второй оси.

Таким образом, при одинаковом техническом состоянии подшипников в буксах на первой и второй осях тепловой сигнал, считываемый системой контроля КТСМ-01, с буксы на первой оси в 2,05 раза меньше, чем с буксы на второй оси. Это происходит, как было показано моделированием, за счет неравнозначного обдува (охлаждения) букс на первой и второй осях, а также из-за считывания теплового сигнала при данной ориентации приемника с разных зон буксовых узлов, нагретых неодинаково.

При контроле по нижней поверхности буксы (КТСМ-02) отличие амплитудных значений по буксам на первой и второй оси менее существенное (1,21 раза), как показывают аналогичные расчетные осциллограммы сигнала (см. рис. 9). Это связано с тем, что контроль производится по одной и той же зоне поверхности букс и отличие значений амплитуд сигналов вызвано только аэродинамическими причинами.

Представленные результаты позволили обосновать причины полученной согласно статистике показаний средств теплового контроля КТСМ-01 двукратной разницы уровней нагрева четных и нечетных осей высокоскоростных поездов на тележках модели 68-4076 и аналогичных моделей.

Результаты проведенных исследований послужили основанием для первоочередного оснащения установками КТСМ-02 магистралей ОАО «РЖД» с высокоскоростным движением (Москва — Санкт-Петербург; Москва — Адлер; Москва — Красноярск)

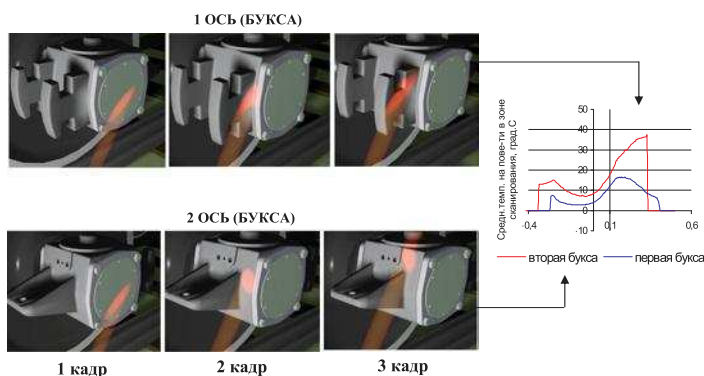


Рисунок 8 — Кадры траектории сканирования приемником ИК-излучения КТСМ-01 первой и второй букс тележки 68-4076 и соответствующие осциллограммы теплового сигнала на приемнике в интегральных температурах в «пятне»

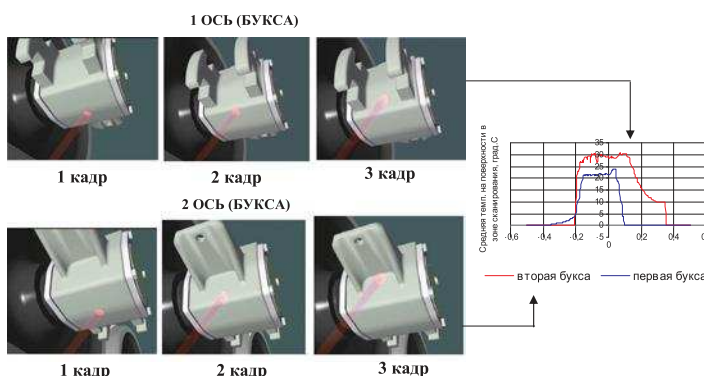


Рисунок 9 — Кадры траектории сканирования приемником ИК-излучения КТСМ-02 первой и второй букс тележки 68-4076 и соответствующие осциллограммы теплового сигнала на приемнике в интегральных температурах в «пятне»

Литература

1. Миронов А.А., Павлюков А.Э., Образцов В.Л., Занкович А.В. Моделирование температурных полей буксового узла с цилиндрическими и коническими роликовыми подшипниками // Вестник ВНИИЖТ. 2007. № 2. С. 37 — 40.