

**ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ТРАНСПОРТА**

УДК 629.4.02.004.67:620.1

В. В. БУРЧЕНКОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Рассмотрена технология выявления буксовых узлов на ранней стадии развития неисправностей. Предложены методики режима «Слежение» и использования приведенной температуры, позволяющие эффективно решать задачу обнаружения разрушений букс «по состоянию» и прогнозировать запас хода вагонов до достижения температурой корпуса букс предаварийного, аварийного или критического уровней.

**В** связи с усложнением новой техники и требованием неуклонного повышения ее надежности трудоемкость диагностических и контрольных операций резко увеличивается. В высокоразвитых странах затраты на контроль качества составляют в среднем 1–3 % от стоимости выпускаемой продукции, а в таких отраслях промышленности, как оборонная, атомная и аэрокосмическая, затраты на контроль качества возрастают до 12–18 %.

Рост объема перевозок, повышение скорости движения и тоннажа грузовых поездов заставляют обращать всё большее внимание на оперативный контроль состояния ответственных частей подвижного состава. Решение задачи может быть, в частности, достигнуто путем создания ряда измерительных устройств, располагаемых на железнодорожном пути и вблизи него и способных выполнять измерение непосредственно на ходу поезда.

Основная цель современных разработок заключается в автоматизации выявления технических неисправностей вагонов в эксплуатации путем организации интегрированной сети технического контроля подвижного состава в движении [1]. Особое значение уделяется разработке новых технологий слежения за перемещением вагонов и принятию оптимальных решений при организации перевозочного процесса.

**Оптимизация размещения и настройки комплексов КТСМ.** Автоматический контроль технического состояния подвижного состава на ходу поезда – последняя и в ряде случаев единственно возможная технологическая операция, позволяющая выявить недопустимые дефекты в подвижных единицах и тем самым предотвращать возникновение чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте. Применение современных компьютерных технологий технического диагностирования и контроля позволяет систематизировать теорию и аппаратное построение систем проверки подвижного состава на ходу поезда.

Ходовые части подвижного состава на Белорусской железной дороге проверяются приборами теплового контроля КТСМ-01, КТСМ-01Д и КТСМ-02.

Все периферийные устройства включены в Автоматизированную систему контроля подвижного состава АСК ПС. В системе реализованы функции «Слежения» и алгоритмы «Тревога 1 {П}» – для профилактической проверки буксы; «Тревога 0 {Д}» – при повышенной динамике нагрева с учетом приращения теплового уровня

буксового узла между смежными установками КТСМ. Это позволило повысить пороговые уровни срабатывания тревожной сигнализации и предотвратить необоснованные задержки поездов на стыках со смежными железными дорогами сопредельных государств (Российской Федерации, Украины, Литвы и Латвии) [2].

Благодаря повышенной настройке порогов тревожной сигнализации КТСМ промежуточные пункты контроля работают не в диагностическом, а в контрольном режиме. В результате увеличилась пропускная способность, снижаются задержки поездов по показаниям средств теплового контроля на промежуточных станциях при неизменном среднегодовом уровне отцепок вагонов по перегреву буксовых узлов с цилиндрическими подшипниками. График задержек поездов и отцепок вагонов приведен на рисунке 1. Сейчас этот процесс продолжается в основном за счет замены физически и морально устаревших комплексов КТСМ-01 на более современные КТСМ-02.

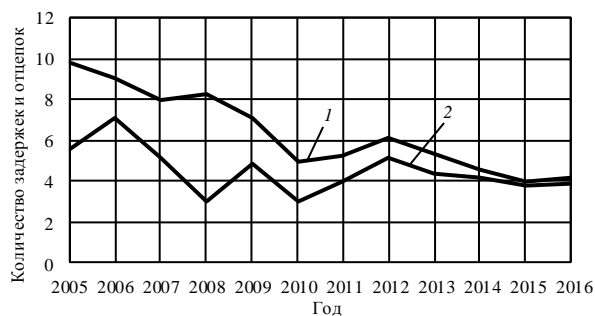


Рисунок 1 – График зависимости задержек поездов (кривая 1) и отцепок вагонов (кривая 2) по показаниям средств теплового контроля

На дороге в настройках автоматизированных пунктов контроля АРМ ЦПК приняты дифференцированные значения приращений уровней нагрева букс между смежными пунктами контроля для формирования тревожной сигнализации «Тревога 0 {Д}». Для пунктов контроля, расположенных на подходах к пунктам технического осмотра, эти значения составляют 5–10 квантов, а на участках безостановочного следования поездов – свыше 15 квантов, или 15 °С (разность температур нагрева букс на одной оси колесной пары). Установлено, что наиболее высокая подтверждаемость показаний фиксируется при динамике нагрева букс выше 1 °С на один километр пробега вагона. При скорости движения поезда 60 км/ч это соответствует темпу нагрева 1 °С/мин.

При таком темпе и расстоянии между пунктами контроля, например 25 км, неисправная букса нагреется относительно другой, расположенной на той же оси, на 25 °С. Полученное значение будет ниже порогового значения для критерия «Тревога 0» на промежуточных станциях (28 °С). В этом случае формируется сигнализация по повышенной динамике нагрева буксы «Тревога 0 {Д}». По результатам осмотра на станции, где поезд остановился в соответствии с графиком движения, принимается решение о возможности дальнейшего следования вагона в составе поезда [3].

Для своевременного выявления неисправностей в тормозном оборудовании вагонов на пунктах технического осмотра понижены пороги сигнализации «Тревога 0 {Т}» (торможение). Это позволило организовать диагностический режим контроля тормозного оборудования на ходу подвижного состава в системе АСК ПС. В результате появилась возможность следить за утечками воздуха и замедленным отпусканием тормозов сформированного поезда при движении по установленному маршруту. Сократилось количество самопроизвольного отпуска или срабатывания тормозов с образованием на поверхности катания колес наваров и ползунов в результате заклинивания колесных пар.

**Выявление буксовых узлов на ранней стадии развития неисправностей.** На пунктах технического осмотра дороги (ПТО) профилактический контроль буксовых узлов грузовых вагонов осуществлялся осмотрщиками визуально, по так называемым скрытым показаниям АРМ ПТО, отображающим начальную стадию развития отказов. Для автоматизации этого процесса может использоваться оригинальный алгоритм поиска неисправностей с формированием сигнализации «Тревога 0 {П}» (профилактика). Признак предназначен для КТСМ, размещенных на перегонах перед пунктами технического осмотра, где осматриваются все грузовые поезда.

Сигнализация «Тревога 0 {П}» включается для вагонов с нагревом букс выше уровня, указанного в настройке АРМ ЛПК, но ниже порога «Тревога 0» (для букс, имеющих повышенный нагрев по сравнению с другими расположенными на одной стороне вагона). Для сигнализации «Тревога 0 {П}» применяют «плавающий» порог, значение которого снижается обратно пропорционально значению «отношения»  $Q$ :

$$U_{0п} = P_0 / Q, \quad (1)$$

где  $U_{0п}$  – значение порога «Тревоги 0 {П}», квант;  $P_0$  – табличное значение параметра «Тревога 0 {П}»;  $Q$  – значение относительного перегрева буксы (отношение максимально нагретой буксы к среднему значению остальных букс, расположенных на одной стороне вагона).

Минимальное снижение порога ограничивается порогом передачи информации с перегонного оборудования на АРМ ЛПК, который составляет 14 квантов. Момент начала снижения порога определяется параметром  $P_0$ , значение которого рекомендуется устанавливать равным условной температуре настройки КТСМ [4].

Сигнализация «Тревоги 0 {П}» применяется только для грузовых вагонов. После реализации этого алгоритма на ПТО отменяется осмотр всех вагонов по скрытым показаниям КТСМ.

В результате сократился объем непроизводительной работы осмотрщиков, исключена угроза несвоевременного выявления потенциально опасных неисправностей в буксовых узлах грузовых вагонов, в том числе с нарушением торцевого крепления подшипников. Благодаря этому увеличивается пропускная способность на основных пунктах технического осмотра дороги.

После эксплуатационных испытаний алгоритма формирования тревожной сигнализации «Тревога 0 {П}» изменена технология осмотра поездов на ПТО всех узловых станций дороги.

На промежуточных пунктах контроля введена дополнительная сигнализация «Тревога 1 {П}». Значение ее порога определяется по формуле

$$U_{1п} = P_1 / Q, \quad (2)$$

где  $U_{1п}$  – значение порога «Тревоги 1» при понижающей коррекции;  $P_1$  – табличное значение параметра «Тревога 1 {П}»;  $Q$  – значение относительного перегрева буксы (отношение к среднему нагреву остальных букс, расположенных на одной стороне вагона).

Минимальное значение снижения порога «Тревога 1» ограничивается значением «Мин. порог», указанным в таблице настройки для линейного пункта АРМ ЛПК. По этому признаку чаще всего выявляются буксы вагонов в начальной стадии разрушения при относительно низком темпе нагрева цилиндрических подшипников (до 0,5 кванта на один километр), если не срабатывает сигнализация «Тревога 0 {Д}».

**Особенности эксплуатации конических подшипников кассетного типа.** При введении в эксплуатацию вагонов нового поколения с коническими подшипниками кассетного типа появились необоснованные задержки груженых и порожних поездов с рабочим нагревом корпусов и крышек букс. Повышенный нагрев таких подшипников проявляется при низких температурах наружного воздуха ( $T_{н.в}$ ) с ноября по март, когда средние значения уровней тепловых сигналов, выраженные в квантах, и относительные температуры корпусов букс повышаются, в сравнении с летними значениями, в 1,5–1,7 раза. График средних значений уровней и температур за год представлен на рисунке 2.

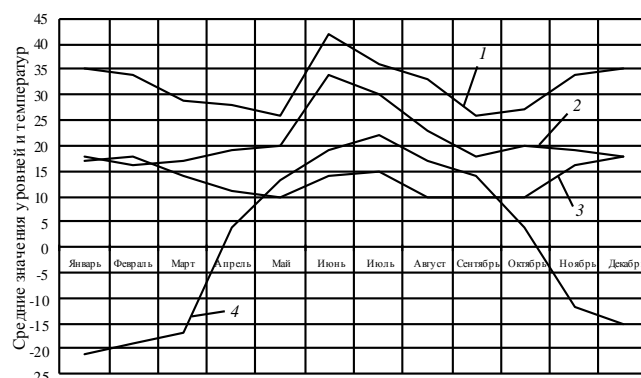


Рисунок 2 – График средних значений уровней и температур за год:

1 – средние значения уровней; 2 – максимальные значения уровней; 3 – максимальные значения разности температур; 4 – температура наружного воздуха

Как было отмечено ранее, критерий «Тревога 0 {П}» (профилактика) формировался с учетом отношения

уровня нагрева контролируемой буксы к среднему значению уровней температур остальных букс по одной стороне вагона. Это приводило к необоснованным задержкам поездов с рабочим нагревом конических подшипников.

Новый критерий браковки буксовых узлов по разности температур их нагрева на одной оси колесной пары  $R_{\max \text{ ось}}$  менее подвержен влиянию низких температур наружного воздуха, но его численное значение в КТСМ-01Д возрастает в летнее время из-за влияния солнечной радиации. Разность температуры наиболее нагретой буксы и среднего значения температуры остальных букс на контролируемой стороне вагона  $R_{\max \text{ ст}}$  является более совершенным аналогом критерия «Тревога 0 {П}».

Все установки КТСМ-02 переведены с квантовой версии программного обеспечения на градусную, которая более адекватно оценивает состояние разнотипных подшипников и буксовых узлов в соответствии с браковочными значениями температур. Кроме того, показания КТСМ-02 в градусах Цельсия при проведении измерений не позднее чем через 15 мин после остановки поезда коррелируются с температурой букс, определяемой на станции бесконтактными приборами «Кельвин».

Алгоритмы браковки буксовых узлов в соответствии с новым критерием оценки позволяют отказаться от недостаточно надежного метода распознавания вагонов по типу подшипников от повышающей коррекции порогов сигнализации на рабочий нагрев конических подшипников кассетного типа. Благодаря такой оценке в программном обеспечении исключены сложные для восприятия эксплуатационным персоналом (дежурные по станциям, диспетчеры) алгоритмы коррекции порогов тревожной сигнализации.

В новом программном обеспечении предусмотрены следующие варианты настроек тревожной сигнализации в соответствии с размещением КТСМ: перед станциями с пунктом осмотра вагонов – «ПТО», перед станциями без ПТО – «Промежуточная», а также для различных участков дорог с учетом расстояния между пунктами контроля – со снижением порогов на  $3^\circ$  – «Пониженная» и повышением порогов на  $4^\circ$  – «Повышенная» по сравнению с порогом при варианте «Промежуточная». Настройки КТСМ перед «ПТО» отличаются от настроек перед «Промежуточной» только более низким (на  $10^\circ\text{C}$ ) порогом «Тревога 0». При этом пороги «Тревога 1» и «Тревога 2» остаются такими же.

Комплексы КТСМ, размещенные удаленно от сортировочных станций с пунктами технического осмотра, настраиваются следующим образом. При срабатывании сигнализации «Тревога 1» (пороги такие же, как при настройке для «Промежуточной») поезд останавливается на ближайшей станции, а при срабатывании «Тревога 0» (с заниженным порогом) без остановки следует в парк прибытия пунктов технического осмотра. Здесь осмотрщики вагонов более тщательно проверяют состояние буксовых узлов.

Таким образом, обеспечивается безостановочный пропуск транзитных поездов, а неисправные буксы с относительно высокой температурой выявляются в условиях пункта технического осмотра. В этом случае установленные пороги сигнализации по разности температур на

одной оси колесной пары  $R_{\max \text{ ось}}$  являются альтернативой критерия «Тревога 0 {П}».

В версию программного обеспечения 2.0.8.1. введена автоматическая коррекция порогов тревожной сигнализации в зависимости от температуры наружного воздуха. Такая коррекция в значительной мере снижает количество показаний КТСМ-02 на рабочий нагрев конических подшипников в зимнее время года и риск несвоевременного обнаружения неисправных букс при высокой температуре наружного воздуха. В результате перевода КТСМ-02 на градусную версию количество задержек поездов, проконтролированных по показаниям на промежуточных станциях дороги, сократилось. Количество отцепок грузовых вагонов из-за перегрева буксового узла снизилось. Отцепки стали более обоснованными. Естественно, на этот показатель повлияло пополнение рабочего парка новыми вагонами и повышение качества ремонта буксовых узлов в депо.

При градусной версии программного обеспечения КТСМ-02 разность температур нижних секторов корпусов букс на одной оси колесной пары практически не зависит от температуры окружающего воздуха и не подвержена влиянию солнечной радиации.

При низких температурах наружного воздуха, когда уровни тепловых сигналов и относительной температуры корпусов букс повышаются в сравнении с летними значениями, контроль аппаратуры КТСМ-01Д ухудшается. На это влияет в том числе и увеличение парка вагонов с коническими подшипниками. Поэтому новые критерии браковки буксовых узлов по разности уровней их нагрева на одной оси колесной пары в КТСМ-01Д, аналогичные алгоритмам КТСМ-02, позволили существенно снизить необоснованные задержки поездов.

**Разработка методики для мониторинга нагрева букс.** Использование в качестве показателя исправного функционирования буксы температуры нагрева ее корпуса практически исключает влияние посторонних факторов на него при контроле (температуры окружающей среды, различных скоростей движения, силы и направления ветра, погрешностей в настройке аппаратуры). По мере движения поезда, анализируя динамику изменений температуры, можно судить о состоянии букс и исправности этого ответственного узла.

При проверке ходовых частей вагонов осмотрщик сравнивает температуры корпусов соседних букс. При одинаковых внешних условиях значительные температурные отличия свидетельствуют о серьезных изменениях в техническом состоянии механизмов букс. В то же время вероятность одновременного разрушения двух, трех и более буксовых узлов ничтожно мала [5, 6].

На рисунке 3 совмещены две последовательности значений температур  $T_{A, i}$  и  $T_{B, j}$  для буксовых узлов семи четырехосных вагонов. Это зависимости температур корпусов букс от порядковых номеров осей с правой по ходу поезда стороны, полученные на станциях А и В. Из-за различных условий измерений средние значения температур отличаются и составляют для  $T_A$  12,5 уровней квантования, для  $T_B$  – 13,5.

Для сравнения полученных на смежных пунктах контроля температур необходимо, чтобы условия измерения были одинаковыми. Благодаря практически линейной зависимости температуры корпуса от влияющих факторов достаточно ограничиться нормировкой значе-

ний температур букс, полученных по станциям А и В, на их средние значения  $T_A$  и  $T_B$  соответственно. Таким образом, техническое состояние  $i$ -го буксового узла характеризуется приведенной температурой  $\theta_i = T_i / T$ , фактически указывающей на долю температуры его корпуса в общем среднем значении температуры корпусов букс по контролируемой стороне поезда.

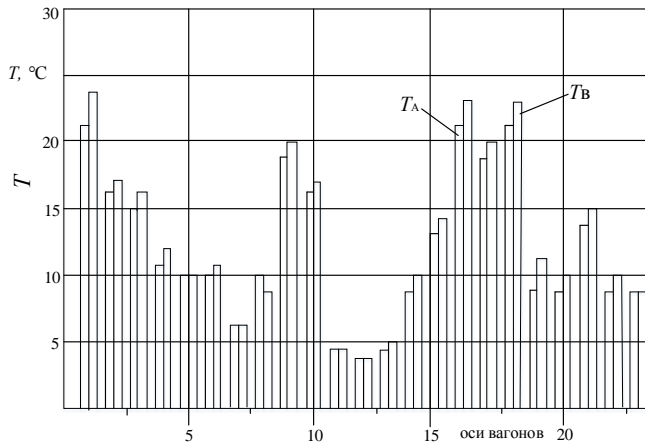


Рисунок 3 – Последовательности значений температур  $T_{A,i}$  и  $T_{B,j}$  по станциям А и В

Таким образом, техническое состояние  $i$ -го буксового узла характеризуется приведенной температурой  $\theta_i = T_i / T$ , фактически указывающей на долю температуры его корпуса в общем среднем значении температуры корпусов букс по контролируемой стороне поезда.

При условии примерно одинаковой теплоотдачи численные значения  $\theta_i = 0,5$  и  $\theta_j = 2$  означают, что тепловыделение  $i$ -й буксы в два раза выше, чем в среднем по контролируемой стороне поезда. При исправности буксовых узлов во время движения подвижного состава соотношение между температурами корпусов остается практически неизменным. Положительная динамика приведенной температуры одного из корпусов указывает на ухудшение технического состояния буксы.

На рисунке 4 представлена последовательность разностей  $\Delta\theta_i = \theta_{B,j} - \theta_{A,i}$  приведенных значений температур корпусов букс по станциям В и А.

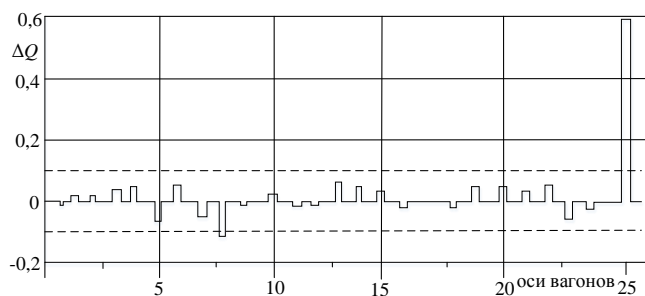


Рисунок 4 – Последовательность разностей  $\Delta\theta_i = \theta_{B,j} - \theta_{A,i}$

Последовательность содержит случайную и детерминированную составляющие. Для точного обнаружения дефектного буксового узла необходимо задать порог значимости приращения приведенной температуры, превышение которого указывает на начальный этап разрушения. С этой целью по результатам измерений следует определить максимально возможное значение случайной составляющей приращений. Предполагая

нормальное распределение приращений в качестве порога значимости, целесообразно взять границы доверительного интервала значений, соответствующие вероятности 0,997. Эти границы составляющей приращений, равные  $\pm 3\sigma$ , выделены на рисунке 4 штриховыми линиями. Приращение температуры корпуса 25-й буксы по смежным пунктам контроля значительно выходит за границы доверительного интервала. Это указывает, что разрушение буксы началось.

Среднее значение последовательности разностей  $\Delta\theta_i$  равно нулю, поэтому при вычислении среднеквадратического отклонения  $\sigma$  приращений приведенной температуры используется соотношение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\theta_{B,i} - \theta_{A,i})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где  $n$  – общее число осей поезда.

Исключив результат измерений по 25-й буксе в силу явно детерминированного характера приращения температуры, получаем среднеквадратическое значение случайных приращений приведенной температуры  $\sigma = 3,35$  %. Нижняя граница значимости приращений приведенной температуры составляет 10 %. Аналогично вычисляются температуры корпусов букс, расположенных с противоположной по ходу поезда стороны.

Использование разработанной методики позволяет осуществлять раннее выявление разрушений букс, в том числе порожних и слабо загруженных вагонов, где процессы разрушения идут относительно вяло.

Также с помощью мониторинга можно ориентировочно прогнозировать, сколько километров может пройти греющая букса. Это актуально на раннем этапе, пока процесс разрушений буксового узла не стал лавинообразным.

В основе прогноза лежит линейная модель динамики процесса. Так, если температура корпуса 25-й буксы после прохождения поезда от станции А до станции В (34 км) возросла на девять уровней квантования (от 14 до 23), то пройденный поездом путь до подачи аппаратурой КТСМ-01Д (33-й уровень квантования) сигнала «Тревога 0» пропорционально составит 38 км. Запас хода до аварийного и критического уровней определится аналогичным образом как для КТСМ-01Д, так и для КТСМ-02. По выведенным на монитор данным принимается решение, возможно ли дальнейшее движение поезда.

**Организация системы учета и анализа работы КТСМ при мониторинге подвижного состава.** Диспетчерский центр АСК ПС, находящийся в Дорожном центре управления перевозками (ДЦУП), объединяет все отделенческие системы централизованного контроля подвижного состава. На рабочем месте оператора АСК ПС отображаются результаты мониторинга буксовых узлов по тепловому признаку в реальном режиме времени. Диспетчерский центр АСК ПС может также функционировать в составе Центра управления состоянием инфраструктуры (ЦУСИ), создаваемого на дороге [7]. Специалисты службы вагонного хозяйства усовершенствовали систему учета показаний средств теплового контроля КТСМ и АСК ПС. Операторы службы, работающие в ДЦУП, по окончании каждой смены в фор-

мате Word формируют справку о работе АСК ПС для всех причастных руководителей и специалистов дороги.

В справке вся информация распределена по линейным пунктам контроля дороги. В ней предусмотрены: дата, время срабатывания средств теплового контроля, время прибытия, готовности и отправления поезда; наименование пункта контроля; тип КТСМ и настройка АРМ ЛПК; графический номер поезда, расшифровка показаний с указанием уровня нагрева буксы и ее расположения в вагоне; сведения о результатах осмотра буксового узла с указанием типа подшипника и марки смазки. В том числе представлены показания предыдущих средств контроля по АСК ПС, зафиксированных в режиме слежения, сведения об отцепленном вагоне и его инвентарном номере, сведения о вагоноремонтном предприятии, освидетельствовавшем буксовый узел, фамилия осматривающего вагонов [3]. Итоговые данные по месяцам года позволяют анализировать структуру показаний КТСМ по отделениям и на дороге в целом.

Опыт использования нового программного обеспечения КТСМ-01Д версии 2.0.8.7 с новыми критериями по разности уровней нагрева букс на одной оси колесной пары, а также по разности уровня нагрева буксы и среднего значения других букс на одной стороне вагона может быть полезен для других участков железной дороги или отделений дороги на время, пока все средства контроля не будут переведены на КТСМ-02.

Эти критерии в сравнении с прежними версиями значительно снижают количество тревожных показаний КТСМ-01Д на рабочий нагрев подшипников кассетного типа, обеспечивая необходимый уровень безопасности движения поездов.

Получено 11.02.2019

**V. V. Burchankou.** Improvement of monitoring methods and technology technical condition of rolling stock.

The technology of detection of slip units at an early stage of fault development is considered. The methods of the «Tracking» mode and the use of the reduced temperature are proposed, which allow to effectively solve the problem of detecting the destruction of the boxes «by the state» and to predict the range of the cars before the temperature of the boxes body reaches pre-emergency, emergency or critical levels.

**Заключение.** Использование предложенной методики режима «Слежение» и анализа приведенной температуры позволяет эффективно решать задачу раннего обнаружения разрушений букс и прогнозировать запас хода вагонов до достижения температурой корпуса пре-аварийного, аварийного или критического уровней.

#### Список литературы

1 **СТП БЧ 19.314–2015.** Средства теплового контроля технического состояния подвижного состава на ходу поезда. Размещение, установка и эксплуатация. – Минск : Белорусская ж. д., 2015. – 37 с.

2 **Бурченко, В. В.** Оперативная информация о состоянии подвижного состава Белорусской железной дороги / В. В. Бурченко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VI Международ. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С. 72–73.

3 **Поборцев, П. Н.** Порядок пользования автоматизированной системой контроля подвижного состава (АСК ПС) от устройств ДИСК, КТСМ Белорусской железной дороги / П. Н. Поборцев, З. А. Стаховская. – Минск : Белорусская ж. д., 2008. – 76 с.

4 **Гондоров, В. А.** Новый этап развития аппаратуры КТСМ / В. А. Гондоров // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 30–31.

5 **Панкратов, Л. В.** Мониторинг нагрева букс / Л. В. Панкратов, С. Н. Чистяков // Автоматика, телемеханика, связь. – 2008. – № 6. – С. 19–21.

6 **Шебель, А. Н.** Дистанционный мониторинг технического состояния подвижного состава / А. Н. Шебель // Железные дороги мира. – 2013. – № 6. – С. 54–59.

7 **Бурченко, В. В.** Совершенствование алгоритма для теплового контроля подвижного состава / В. В. Бурченко, А. С. Кучерук // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VI Международ. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С. 73–74.