

И. С. Лексутов, В. П. Клюка

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ДИАМЕТРА КОЛЕСА ВАГОНА

Аннотация. Сделан обзор современных автоматизированных систем, использующихся для измерения диаметра колеса вагона, и предложена система классификации подобных систем на основе кинематических особенностей относительного движения внутри системы «источник – приемник – объект». Показаны основные особенности измерительных систем и предсказаны особенности еще не применяющихся на железнодорожном транспорте измерительных устройств. На примере задачи измерения диаметра колеса показан синтез структуры и расчет основных характеристик позиции для контроля диаметра колеса вагона в составе колесной пары и тележки в условиях размещения позиции на поточной линии либо пути-накопителе.

Ключевые слова: триангуляционный дальномер, автоматизированная система, колесная пара вагона.

Для цитирования: Лексутов, И. С. Анализ особенностей применения и классификация автоматизированных систем для бесконтактного измерения размеров и формы деталей на примере систем контроля диаметра колеса вагона / И. С. Лексутов, В. П. Клюка // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1. – С. 248–256. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_248.

Введение

В последнее время для измерений параметров размеров и формы колес вагонов как в ремонтных, так и в эксплуатационных депо предлагаются бесконтактные оптические технологии. Предлагаются к внедрению автоматизированные системы, которые могут выполнять контроль широкого комплекса параметров, который практически полностью характеризует исправное состояние колес вагона в составе колесной пары. Таким образом, установкой одной единицы оборудования возможно совершить некоторый технологический скачок, который позволит ограничить использование нескольких единиц специализированного ручного измерительного и контрольного инструмента и уменьшить затраты на его содержание.

Состояние проблемы и постановка задачи

Однако автоматизация производства может двигаться не только скачками, но и малыми шагами, постепенно отказываясь от ручного труда путем внедрения простых установок на самом базовом уровне. Внедрение сложных автоматизированных станков, реализующих комплексный контроль узлов и систем вагона, часто очень трудно обосновать. Комплексные автоматизированные системы и станки для диагностирования технического состояния вагона сложны и дороги, а встраивание подобных установок в автоматические линии затруднено из-за сложностей технологического характера, связанных с загрузкой и необходимостью точного позиционирования объекта контроля на измерительной установке. Следует отметить, что одной из особенностей предприятий вагонного хозяйства является относительно малый объем производства ремонта, внедрение в которое дорогостоящего оборудования окупится в очень отдаленной перспективе. Поэтому, на взгляд авторов, постепенное внедрение в производство более простых автоматизированных установок, регистрирующих отдельные технические параметры объекта из всего комплекса признаков неисправности, – это наиболее рациональный подход. При этом необходимо обеспечивать открытость таких автоматизированных систем с возможностью расширения их функционала путем установки в будущем новых модулей, расширяющих возможности регистрации других признаков неисправности объекта контроля.

Еще одна проблема при использовании сложных систем измерений, стремящихся охватить весь перечень диагностических признаков, возникает, когда методика автоматизированного измерения не повторяет принятую, а использует другой принцип действия и набор информации, который часто неполный для такой задачи. После сбора компьютер аппроксимирует и интерпретирует эту информацию, используя некие корреляционные критерии, косвенно связанные с объективными признаками неис-

правности. Особенностью такой методики является ограничения по достоверности результатов диагностирования, так как сложно напрямую сравнивать для верификации два принципиально разных способа измерения. Такие методики обеспечивают достаточно правдоподобные результаты диагностирования, но зачастую их необходимо подтверждать с использованием утвержденной в технической документации методики. Из-за чего снижается эффект от внедрения таких автоматизированных систем, так как они не могут работать в полностью или частично автоматическом режиме и постоянно в ходе эксплуатации требуют участие работников для перепроверки результатов, исключения недостоверных показаний и «обучения» автоматизированной системы уже в процессе ее эксплуатации путем изучения случаев «ложных срабатываний».

Целью исследования ставится анализ методик, реализованных при бесконтактном оптическом контроле деталей вагонов для повышения достоверности получаемых результатов на этапе проектирования путем максимального приближения бесконтактного способа к тому, который принят в действующей документации. Приближение автоматизированной методики к принятой в документации, без погони за охватом полного списка контролируемых параметров в одной автоматизированной установке, создает условия для корректного сравнения результатов работы автоматизированной методики при подтверждении ее достоверности. Это обоснованно сделает автоматизированную методику и реализующую ее измерительную машину, даже если используются другие физические принципы, эквивалентом измерению при помощи ручного инструмента по действующей технической документации.

Предлагаемое решение

Бесконтактные оптические дальномеры получили широкое распространение в автоматизированных системах для контроля параметров формы и размеров деталей. Положительные их особенности известны хорошо. Например, есть возможность исключения механического износа и связанной с этим периодической поверки и юстировки измерительной системы. Реализуется исключение механического контакта с объектом контроля, который может оказывать разнообразные неблагоприятные воздействия на измерительный датчик. Актуально применение таких дальномеров для задач, связанных с их дистанционным использованием, в условиях, когда следует не нарушать габарит при контроле размеров деталей подвижного состава на ходу. Но вместе с преимуществами следуют и некоторые недостатки, связанные с физическими особенностями дальномеров, которые можно назвать преимуществами классических способов контроля.

Многие методики измерения, основанные на использовании ручного механического измерительного и контрольного инструмента, обладают преимуществами перед автоматизированными способами. Например, часто поиск максимального или минимального размера по вершине выпуклой области поверхности, которая может обладать несколькими локальными максимумами по уровню, происходит автоматически, с использованием тактильных ощущений работника, его органов чувств и особенностей конструкции движущихся частей инструмента, где обычным является наличие плоскостей и перпендикулярных элементов. Та же задача, решаемая автоматизированной системой, требует механического либо электронного сканирования всей исследуемой поверхности с учетом некоторого достаточного интервала между соседними точками, и выявления из полученного облака точек той, что требуется по условиям измерения. Некоторые задачи поиска минимума того или иного признака решает работник автоматически, ориентируясь на визуальные признаки. Например, если оценка технического состояния проводится по индикаторам износа, которых может быть на детали несколько, работник может выбрать из этих индикаторов на детали тот, который показывает наибольший износ. Если та же задача решается каким-то автоматом, то необходимо измерить все возможные контрольные точки, а только потом выбрать минимальные либо максимальные показатели в зависимости от задачи. Конечно же этот пример довольно показательно описывает еще и исключение при измерениях «человеческого фактора».

На рис. 1 показан пример описанной ситуации на деталях тележки 18-9855, когда из всей верхней поверхности нужно контролировать положение только ее плоской части (рис. 1, а), а из множества из четырех индикаторов нужно выбрать тот, который имеет минимальную глубину (рис. 1, б). В обоих случаях применяется штангенглубиномер, автоматически становящийся перпендикулярно к контролируемой поверхности за счет своей формы.

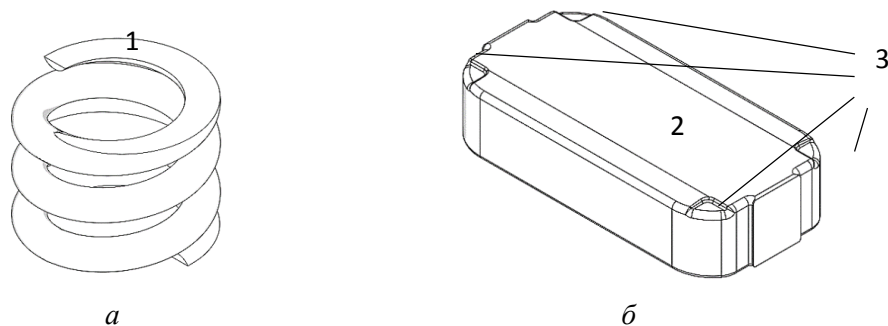


Рис. 1. Характерные поверхности деталей тележки вагона (а – наружная пружина скользуна, б – колпак скользуна с индикаторами износа):

1 – плоская торцевая поверхность цилиндрической пружины; 2 – рабочая поверхность, подверженная износу; 3 – четыре индикатора, из которых для браковки нужно выбрать один с наименьшей глубиной относительно уровня плоскости рабочей поверхности

В зависимости от изменения сопротивлений дренажных установок с помощью программы распределения электрических величин в тяговой рельсовой сети рассчитаем потенциалы ДУ тяговой подстанции и трубопровода. Данные предлагается снимать в следующие моменты: когда оба локомотива находятся в точке 20 км (см. рис. 1), когда один локомотив находится в точке 10 км, а второй – в точке 30 км и когда один локомотив находится в точке 0 км (см. рис. 2), а второй – в точке 40 км (см. рис. 3).

Использование ручного инструмента предполагает гибкое им манипулирование при помощи рук работника, тогда как автоматизированная система часто имеет лишь жестко закрепленные датчики, либо возможность грубой подстройки положения в пространстве по линейной направляющей. Ручной инструмент обычно предполагает контакт через минимум две точки, одна из которых является базой для отчета. Автоматизированная методика измерения такой базы часто не имеет, а ведет отчет от текущего положения измерительного дальномера, настоящее положение которого в пространстве может измениться в ходе эксплуатации автоматизированной установки. Установить реальное положение дальномера и внести корректировки в алгоритм вычисления размеров или интерпретации показаний датчика бывает затруднительно из-за условий применения и места установки такой измерительной системы.

Показания дальномера при измерении размеров не связаны напрямую с размером исследуемой детали, как в обычной методике с применением ручного инструмента. Дальномер измеряет расстояние только от собственного корпуса до какой-то точки на поверхности детали, которая доступна для объектива дальномера в данный момент. Из этого расстояния вычисляется нужный размер, исходя из свойств и способа установки корпуса дальномера на автоматизированной установке либо на устройстве манипулирования положением дальномера в пространстве. Часто расчеты производятся с учетом неких принятых допущений и предположений о форме объекта (например, о его симметрии). Поэтому показания измерительных установок на основе оптических дальномеров – это, в основном, некоторая расчетная интерпретация взаимного положения нескольких объектов в трехмерном пространстве с учетом информации о точных моментах времени между сериями измерений.

В том числе, исходя и из вышеприведенных соображений, процесс разработки, проектирования и юстировки измерительных систем, построенных на использовании оптических дальномеров, состоит в подборе такого положения элементов измерительной машины и объекта контроля, которые обеспечивали бы требующуюся по заданию точность и покрытие возможных отклонений измеряемого параметра.

Основная проблема, решаемая при построении таких систем, – это наиболее оптимальное расположение измерительных устройств (датчиков) в пространстве вокруг объекта контроля. Критерии оптимальности могут быть разнообразными. Например, это может быть минимальная стоимость установки, максимальная точность измерений, достоверность контроля, максимальная скорость измерения, либо условие обеспечения не нарушения порога дальности до объекта (например, соблюдение габарита при контроле движущегося подвижного состава) и т.д.

Сам процесс и способ измерения с использованием оптического триангуляционного дальномера по своей сути представляет собой регистрацию отклонений от калиброванных положений поверхностей контролируемых объектов относительно внешних поверхностей модулей источников и приемников отраженного сигнала. Обычно положения внешних поверхностей модулей приемников и источ-

ников жестко фиксированы внутри единого корпуса дальномера. Однако существуют устройства технической диагностики с разнесенными модулями. Например, это устройство АСООД [7], где модули разнесены на относительно большое расстояние и зафиксированы в неподвижном состоянии.

Жесткое закрепление модулей источника и приемника оптического излучения в пространстве внутри корпуса получило наибольшее распространение. Это удобно тем, что юстировку устройства делает единожды производитель. Существуют отработанные соотношения пары основных свойств таких устройств: ближняя граница измерения/диапазон измерения, которые предлагает производитель. От этих соотношений зависит точность и способ применения дальномера. Проектирование измерительной установки в этих условиях упрощается, так как проектировщик может принять за постоянный параметр свойства датчика и сконцентрировать усилия на конструктивных особенностях самой автоматизированной установки. Однако, с другой стороны, такое жесткое закрепление приемника и источника излучения – это серьезное ограничение функциональности установки, так как при измерении разных по номиналу и отклонениям размеров и параметров приходится для каждого такого параметра подбирать свой датчик, в зависимости от требуемой точности и номинала размера. Это приводит к увеличению количества датчиков в установке и усложнению ее структуры, проблемам взаимного влияния датчиков друг на друга и усложнению механической и кинематической схемы измерительной установки.

Для более структурированного осмысления разнообразия существующих и еще не внедренных/неразработанных автоматизированных систем в области бесконтактных оптических измерений можно классифицировать обсуждаемые автоматизированные установки по следующим основным признакам (с возможностью их дальнейшего расширения и дополнения вспомогательными признаками): 1) способ движения либо неподвижность объекта измерения; 2) способ движения или неподвижность измерительного датчика; 3) неизменность/адаптация параметров измерительного устройства в процессе измерения (изменение взаимного положения в пространстве источника и приемника излучения). В процессе работы устройства эти варианты и сочетания могут чередоваться, путем переключения режимов. Эти предложения можно визуализировать с помощью схемы, показанной на рис. 2. Здесь под собственным движением понимается такое движение, параметрами которого автоматизированная система не управляет, а может только регистрировать или вычислять по косвенным признакам.

В предложенной классификации и по схеме возможных вариантов реализации бесконтактных измерений можно увидеть все возможные измерительные устройства как реализованные, так и еще не разработанные, но заранее обладающие некоторыми положительными особенностями. На данный момент большинство существующих установок (например, для измерения диаметра колеса вагона) реализуют два основных варианта: неподвижные датчики и управляемое перемещение объекта, закрепленного на движущейся части установки, либо неподвижная группа измерительных датчиков и неуправляемое перемещение объекта в поле зрения объективов. Это обусловлено относительной простотой конструкции автоматизированной установки и интерпретации получаемых данных от измерительных дальномеров. Системам «Комплекс», «3DWheel» и т.п. соответствует сочетание 1–4. Многие измерительные стенды, предлагаемые для ремонтных депо, реализуют сочетание 2–4 или комбинацию 2–4 и 2–5. В таких стендах предполагается закрепление и управляемое вращение колесной пары относительно неподвижных либо движущихся линейно по программе измерительных модулей приемник/источник. Пару неподвижный объект/неподвижный измерительный модуль можно понимать в смысле относительного движения и отсутствия изменения относительно других частей измерительной установки в момент измерения.

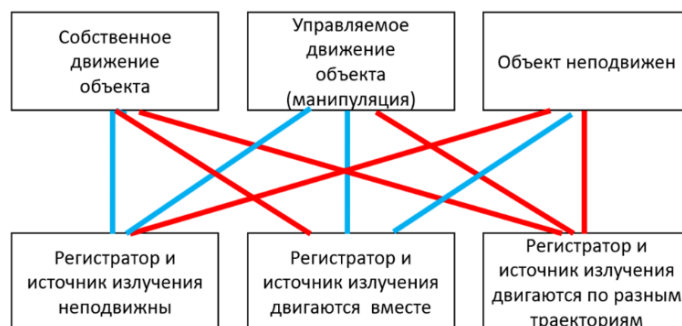


Рис. 2. Варианты конструкции измерительных устройств по кинематическим признакам

Некоторые другие варианты сочетаний признаков реализуются менее часто. Например, сочетание 5–3 по схеме соответствует способу действия и применения лазерного профилометра [8], в котором

переносной модуль автоматизированной системы устанавливается на неподвижное колесо, после чего включается привод для управляемого перемещения по линейной траектории модуля источник/приемник.

Существует система бесконтактного измерения диаметра колеса с использованием контактного шаблона, основанная на движении измерительного модуля в пространстве при неподвижном объекте [10]. Особенностью этого устройства является то, что движение происходит не точным управляемым по программе манипулированием, а регистрацией дальности в ходе хаотизированного направляемого рукой оператора движения, которое оператор выполняет по некоторым правилам. Из множества таких измерений АС выбирает и усредняет наиболее подходящие, информируя об этом оператора. Кроме того, структура источника излучения прибора довольно сложная. Картина, проецируемая на поверхность колеса, состоит из трех линий (проецируется из трех источников излучения), по взаимному положению которых можно судить о расстоянии до поверхности объекта в совокупности с информацией о параллаксе отдельной линии относительно приемника. Эти линии также можно воспринимать как три точки остановки движущегося в пространстве источника излучения относительно неподвижного в корпусе измерителя приемника.

Приемников излучения также может быть несколько. Известны бинокулярные дальномеры. Их можно рассматривать как комбинацию неподвижного приемника в отдельно взятый момент времени, при этом приемник можно считать движущимся прерывисто из одной позиции в другую (зеркальную относительно оси источника излучения) на этапе сборки этого дальномера.

Комбинация 4–3 может соответствовать устройству измерения, подобного устройствам из группы контактных [1], в случае если контактный сенсор линейных перемещений в них заменен на бесконтактный оптический. Однако совмещение в одном устройстве элементов методик, реализующих способы контактного и бесконтактного измерения, достаточно спорно. Существует риск неудачной комбинации достоинств и недостатков обоих принципов измерения. Стоит также заметить, что любое жесткое закрепление бесконтактного датчика, либо закрепление привода его пространственной манипуляции, иногда предполагает наличие механической связи объекта и сенсора через некоторые звенья, что увеличивает погрешность измерений.

В качестве другого примера комбинации 4–3 можно привести предлагаемый способ использования устройства Calpigi [10]. В этом случае совместно с измерителем, не имеющим механического контакта с объектом, используется находящийся в контакте механический индикатор в виде скобы, устанавливаемый на объект. По взаимному положению частей этого индикатора и сканируемой поверхности объекта вычисляется диаметр колеса.

Комбинация, которая имеет в наличии признак б, наиболее интересная. Источник либо приемник разнесенного датчика могут оставаться неподвижными, но относительно них должен перемещаться соответственно приемник/источник. Такой способ построения трехмерных моделей используется в фотограмметрии. Но для технических измерений пока способ не используется. В таком способе измерений координат точек поверхности используется либо неструктурированное излучение условно неподвижного солнца, либо движущаяся вместе с приемником осветительная лампа.

Таким образом теоретически установлено, что бесконтактные средства измерений часто не дают объективной картины, так как используют разные методы и физические принципы относительно стандартных методик. Эта проблема уже была замечена, и существуют попытки опытной оценки точности используемого измерительного оборудования. Некоторые оценки погрешности стандартных шаблонов и бесконтактных устройств при сравнении с методом прямого контактного измерения профиля и диаметра колеса показывают заметные погрешности [11]. Интересно, что для оценки погрешности принятой методики используется станок для механической обработки колеса с использованием контактного способа измерения.

Для иллюстрации предлагаемого авторами подхода к классификации и построению упрощенных, открытых, специализированных на контроле какого-либо одного параметра автоматизированных систем, которые реализуют наиболее близкий к стандартной методике способ измерения, предлагается следующее устройство, показанное на рис. 3.

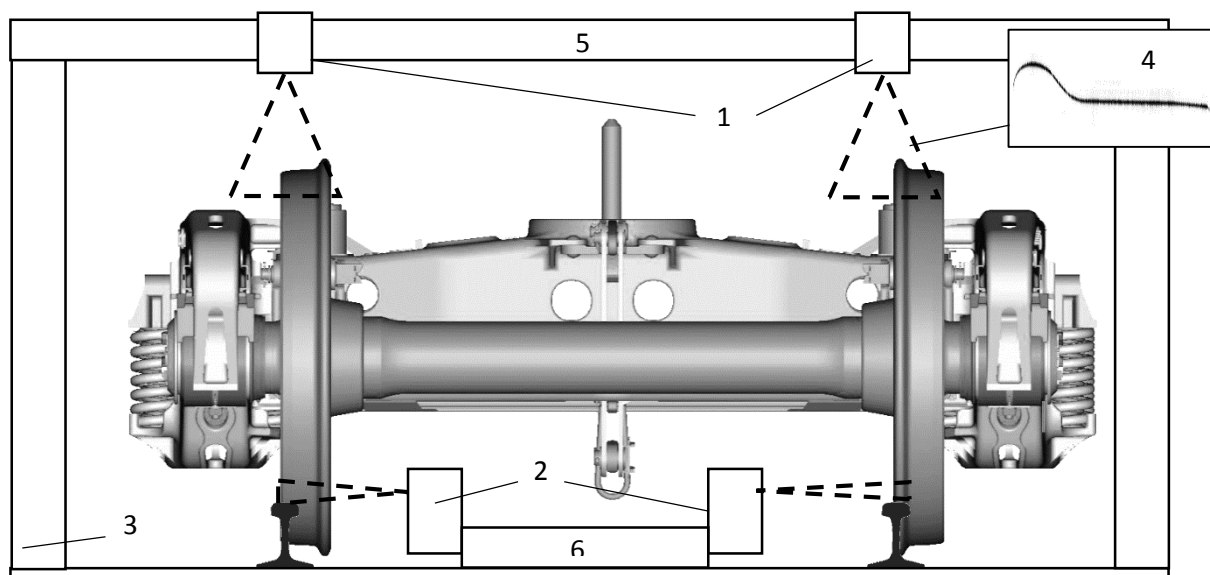


Рис. 3. Устройство для измерения диаметров колес:

1 – дальномеры с электронным сканированием; *2* – дальномеры лазерные триангуляционные; *3* – рама измерительного стенда в виде портала; *4* – изображение профиля поверхности измеряемого колеса, получаемого дальномером с электронным сканированием; *5* – верхняя балка портала; *6* – нижняя балка для размещения дальномеров

Устройство состоит из портала, построенного над отрезком стандартного пути, который может использоваться в качестве транспортировочного между ремонтными позициями в депо, или же этот путь может использоваться в качестве входа в стеллаж-накопитель для хранения колесных пар. Также устройство может использоваться в тележечном отделении, для измерений диаметра колес в составе тележки. На портале в верхней части размещены пара дальномеров с электронным сканированием, которые работают вместе с парой обычных недорогих триангуляционных дальномеров, которые контролируют расстояние между внутренними гранями колес и поперечное смещение с перекосом колесной пары относительно оси пути. Эти датчики необходимы для поиска на профиле точки, соответствующей линии или поверхности катания. Как и скоба ДК, используемая в стандартной методике измерения, пара верхних датчиков измеряют непосредственно диаметры колес, так как колеса противоположной стороной поверхности катания опираются на головку рельса. Это обеспечивает снижение погрешности измерения диаметра в два раза по сравнению со способом, реализующим в стационарных установках сочетания 2–4 и 2–5, где диаметр вычисляется из результата измерения радиуса колеса.

Согласно действующему руководящему документу по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар, номинальный диаметр по кругу катания нового колеса равен 957 мм с предельным отклонением 7 мм, а высота гребня равна 28 мм с отклонением 1 мм. Таким образом, максимальный по высоте уровень колеса будет 992 мм. Минимально возможный размер для контроля верхними датчиками будет определяться из геометрической возможности существования такой фигуры. Его можно принять равным параметру D_v и D_n , которые равны 802 мм. Таким образом, минимальный диапазон для дальномера с электронным сканированием равен 190 мм. Высота установки верхнего дальномера от уровня поверхности рельса равна 992 плюс расстояние от нижней грани датчика до ближней грани. Нижние дальномеры используются в данной установке как вспомогательные, для контроля расстояния между гранями и поперечного смещения колесной пары на пути. Информация с нижних дальномеров также используется для запуска процесса сканирования поверхности катания основными дальномерами и выяснения величины продольного перекоса колесной пары.

Процесс сканирования завершается, если значения дальности от нижних датчиков выходят за дальнюю границу измерений. Из полученного облака точек, полученных при сканировании профиля поверхности катания, выбирается та серия измерений, в которой существует точка с минимальной координатой по вертикальной оси. В этой последовательности находят измерение, соответствующее точке, расположенной на круге катания (с опорой на координаты внутренней грани колеса, как в стандартной методике). Кроме диаметра, структура установки и состав датчиков позволяют измерять такие параметры, как разность диаметров колес в одной колесной паре, если устройство применяется для контроля колес в тележке, то можно измерить разность диаметров колес в тележке. Использование

дальномеров с электронным сканированием позволяет измерять параметры гребней и другие свойства сечения поверхности катания.

Если требуется контролировать овальность колес, то требуется разместить минимум два таких портала на расстоянии 1,5 метра друг от друга для обеспечения двух измерений на колесо во взаимно перпендикулярных плоскостях. Другой способ расширения контролируемых параметров – это изменение класса устройства с сочетания 1–4 до 1–5. В этом случае верхняя балка портала делается подвижной в продольном направлении и снабжается следящим приводом с цифровым управлением. Балка может следить за катящейся внутри портала колесной парой, что позволяет выявлять еще и точечные дефекты на поверхности катания (например, ползуны и выщерблины) и с большей достоверностью измерять овальность и неравномерный прокат. Пределы перемещений подвижной балки в случае измерения отдельной колесной пары составят 3030 мм с некоторым запасом выбега для торможения. Если требуется измерять поочередно колесные пары в составе тележки, то длина хода верхней балки должна быть увеличена с учетом времени остановки слежения за первой колесной парой в тележке и торможения, также добавляется время перевода балки в начальное положение для начала слежения за второй колесной парой. Нижняя балка портала также может стать подвижной для повышения достоверности измерений разницы расстояния между внутренними гранями колеса и выявления точечных дефектов типа местного уширения обода.

Для процедуры поверки устройства измерения предлагается проводить периодические контрольные измерения эталона в виде новой колесной пары с точно известными размерами. В ходе поверки в программу вносятся корректирующие коэффициенты, которые компенсируют возможный износ отрезка пути под порталом и деформацию рамы устройства измерения, которые приводят к изменению положения дальномеров относительно друг друга и пути.

Вывод

В качестве вывода можно заключить, что использование бесконтактных способов измерения основных параметров вагонных деталей имеет некоторые проблемы верификации результатов из-за сложностей сравнения с результатами измерений с использованием принятых в технической документации методик. А поэтому точность и достоверность таких измерений нельзя гарантировать. Так как в предложенной классификации способов реализации бесконтактных методик используются кинематические признаки, предлагается вместо принятого термина «триангуляционный лазерный дальномер» использовать термин «параллаксный дальномер», поскольку такое определение более точно характеризует физический принцип реализации способа измерения дальности, а не способ вычисления и интерпретации дальности внутри ограниченной группы дальномеров. Кроме того, способ вычисления дальности в наиболее распространенных дальномерах такого класса не использует значений углов между какими-либо объектами, как это делается в классическом способе триангуляции. На примере реализации способа бесконтактного контроля диаметра колеса по кругу катания в условиях ремонтного депо показан предлагаемый подход к упрощению автоматизированных систем и одновременно к максимальному приближению способа измерения к принятой в документации методике с использованием скобы ДК Т447.01.000. Такой подход повысит достоверность и позволит обоснованно применять результат измерения диаметра колес, полученный автоматизированной установкой, как эквивалент методики, принятой в действующей документации.

Список литературы

1 **Волков, В. М.** Определение диаметров колесных пар по кругу катания локомотивов и вагонов с использованием устройств по измерению хорды колеса / В. М. Волков, С. Н. Должиков, М. Н. Лакеенко // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте : Материалы III Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участ., Омск, 18–19 октября 2018 года / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2018. – С. 54–60. – ISBN 978-5-949-41213-8.

References

1 **Volkov, V. M.** Determining the diameters of wheelsets along the rolling circle of locomotives and wagons using devices for measuring the wheel chord / V. M. Volkov, S. N. Dolzhikov, M. N. Lakeyenko // Quality control and diagnostics in industry and transport : Materials of the III All-Russian. sci.-tech. conf. with international participant, Omsk, October 18–19, 2018 / Omsk State Transport University. – Omsk, 2018. – P. 54–60. – ISBN 978-5-949-41213-8.

2 Патент на полезную модель № 87983 U1 Российская Федерация, МПК B61K 9/12, G01B 7/02, G01B 7/06. Устройство для измерения диаметров и толщины гребней колес железнодорожного транспортного средства / Е. А. Ханцинзят, В. Г. Жерновой, В. Н. Муртазин. – № 2009119206/22 : заявл. 21.05.2009 : опубл. 27.10.2009, Бюл. № 30. – 2 с.

3 Патент на полезную модель № 87023 U1 Российская Федерация, МПК G01N 29/04. Система бесконтактного определения размеров колесных пар в статике при плановых видах ремонта / М. Д. Рабинович, А. М. Кривной, В. В. Луговской [и др.]. – № 2008151715/22 : заявл. 26.12.2008 : опубл. 20.09.2009, Бюл. № 26. – 2 с.

4 Патент № 2153432 C2 Российская Федерация, МПК B61K 9/12, G01B 11/24, G01B 11/25. Установка для измерения параметров качения колеса железнодорожного вагона и способ измерения (варианты) / А. Л. С. Ревуэльта, К. Х. Г. Гомес. – № 96112773/28 : заявл. 28.06.1996 : опубл. 27.07.2000, Бюл. № 18. – 3 с.

5 Патент № 2724915 C1 Российская Федерация, МПК B61L 27/00. Контроль состояния изнашиваемого элемента / М. Давидыч, Д. Клингебил, У. Сивалингам. – № 2019138635 : заявл. 19.04.2018 : опубл. 26.06.2020, Бюл. № 18. – 28 с.

6 Патент на полезную модель № 87794 U1 Российская Федерация, МПК G01B 11/24. Устройство для измерения параметров колесных пар / А. З. Венедиктов, В. Н. Тирешкин, С. Е. Фетисов [и др.]. – № 2009125761/22 : заявл. 06.07.2009 : опубл. 20.10.2009, Бюл. № 29. – 2 с.

7 Патент на полезную модель № 45976 U1 Российская Федерация, МПК B61K 9/00. Устройство для обнаружения рельсовых транспортных средств с отрицательной динамикой / Г. Н. Юрин, В. М. Стельмах, В. А. Ярошук [и др.]. – № 2005103967/22 : заявл. 28.01.2005 : опубл. 10.06.2005, Бюл. № 16. – 2 с.

8 Measurement sensors // Сайт компании Riftek. – URL : https://riftek.com/products/railway_wheel_profile_gauge_ikp/ (дата обращения : 14.12.2022).

9 Measurement Instruments for Railway Transport // Сайт компании Riftek. – URL: https://riftek.com/products/real_time_wheels_geometry_measurement_system/ (дата обращения : 14.12.2022).

10 Measurement of rolling circle diameter with market-leading precision and compact auxiliary gage // Сайт компании Nextsense. – URL: <https://www.nextsense-worldwide.com/en/industries/railway/wheel-diameter-gauge.html> (дата обращения : 14.12.2022).

2 Patent for useful model 87983 U1 Russian Federation, IPC B61K 9/12, G01B 7/02, G01B 7/06. A device for measuring the diameters and thickness of the wheel flanges of a railway vehicle / E. A. Khantsinzyat, V. G. Zhernovoi, V. N. Murtazin. – No. 2009119206/22 : appl. 05.21.2009 : publ. October 27, 2009.

3 Patent for useful model 87023 U1 Russian Federation, IPC G01N 29/04. System for non-contact determination of the dimensions of wheel pairs in statics during planned types of repairs / Rabinovich, M. D., Krivnoy, A. M., Lugovskoy, V. V. – No 2008151715/22 : appl. 12/26/2008 : publ. 09.20.2009.

4 Patent 2153432 C2 Russian Federation, IPC B61K 9/12, G01B 11/24, G01B 11/25. Installation for measuring the rolling parameters of the wheel of a railway car and measurement method (options) / A. L. S. Revuelta, K. H. G. Gomez. – No. 96112773/28 : appl. 06.28.1996 : publ. 07/27/2000.

5 Patent 2724915 C1 Russian Federation, IPC B61L 27/00. Monitoring the state of the wear element / M. Davidich, D. Klingebil, W. Sivalingham. – No. 2019138635 : appl. 04.19.2018 : publ. 06/26/2020.

6 Patent 87794 U1 Russian Federation, IPC G01B 11/24. A device for measuring the parameters of wheel sets / A. Z. Venediktov, V. N. Tireskin, S. E. Fetisov [at al.]. – No. 2009125761/22 : Appl. 07.06.2009 : publ. 10.20.2009.

7 Patent 45976 U1 Russian Federation, IPC B61K 9/00. Device for detecting rail vehicles with negative dynamics / G. N. Yurin, V. M. Stelmakh, V. A. Yaroshchuk [at al.]. – No. 2005103967/22 : appl. 01.28.2005 : publ. 06/10/2005.

8 Measurement sensors // Website of the company Riftek. – URL: https://riftek.com/products/railway_wheel_profile_gauge_ikp/ (date of access: 12/14/2022).

9 Measurement Instruments for Railway Transport // Website of the company Riftek. – URL: https://riftek.com/products/real_time_wheels_geometry_measurement_system/ (date of access: 12/14/2022).

10 Measurement of rolling circle diameter with market-leading precision and compact auxiliary gage // Website of the company Nextsense. – URL: <https://www.nextsense-worldwide.com/en/industries/railway/wheel-diameter-gauge.html> (date of access : 12/14/2022).

11 Огуенко, В. Н. Как изнашиваются колеса «Сапсанов» / В. Н. Огуенко, С. В. Перфилов, С. О. Сытина // Локомотив. – 2011. – № 12(660). – С. 26–27. – ISSN 0869-8147.

8 Measurement sensors // Сайт компании Riftek. – URL : https://riftek.com/products/railway_wheel_profile_gauge_ikp/ (дата обращения : 14.12.2022).

9 Measurement Instruments for Railway Transport // Сайт компании Riftek. – URL: https://riftek.com/products/real_time_wheels_geometry_measurement_system/ (дата обращения : 14.12.2022).

10 Measurement of rolling circle diameter with market-leading precision and compact auxiliary gage // Сайт компании Nextsense. – URL: <https://www.nextsense-worldwide.com/en/industries/railway/wheel-diameter-gauge.html> (дата обращения : 14.12.2022).

11 Огуенко, В. Н. Как изнашиваются колеса «Сапсанов» / В. Н. Огуенко, С. В. Перфилов, С. О. Сытина // Локомотив. – 2011. – № 12(660). – С. 26–27. – ISSN 0869-8147.

11 Oguenko, V. N. How the wheels of «Sapsanov» wear out / V. N. Oguenko, S. V. Perfilov, S. O. Sytina // Lokomotiv. – 2011. – No. 12 (660). – P. 26–27. – ISSN 0869-8147.

8 Measurement sensors // Website of the company Riftek. – URL: https://riftek.com/products/railway_wheel_profile_gauge_ikp/ (date of access: 12/14/2022).

9 Measurement Instruments for Railway Transport // Website of the company Riftek. – URL: https://riftek.com/products/real_time_wheels_geometry_measurement_system/ (date of access: 12/14/2022).

10 Measurement of rolling circle diameter with market-leading precision and compact auxiliary gage // Website of the company Nextsense. – URL: <https://www.nextsense-worldwide.com/en/industries/railway/wheel-diameter-gauge.html> (date of access: 12/14/2022).

11 Oguenko, V. N. How the wheels of «Sapsanov» wear out / V. N. Oguenko, S. V. Perfilov, S. O. Sytina // Lokomotiv. – 2011. – No. 12 (660). – P. 26–27. – ISSN 0869-8147.

I. S. Leksutov, V. P. Kluka

ANALYSIS OF APPLICATION FEATURES AND CLASSIFICATION OF AUTOMATED SYSTEMS FOR NON-CONTACT MEASUREMENT OF THE DIMENSIONS AND SHAPE OF PARTS ON THE EXAMPLE OF CAR WHEEL DIAMETER CONTROL SYSTEMS

Abstract. Provides an overview of modern automated systems used to measure the diameter of a car wheel and proposes a classification system for such systems based on the kinematic features of relative motion within the source-receiver-object system. It is predicted the main features of measuring systems are shown and the features of future measuring devices have not used in railway transport. The example of measuring the wheel diameter shows the calculation of the main characteristics of the position to control the diameter of the car wheel as part of a wheel pair under the conditions of placing the position on a production line or storage track.

Keywords: triangulation rangefinder, automated system, wagon wheelset.

For citation: Leksutov, I. S. Analysis of application features and classification of automated systems for non-contact measurement of the dimensions and shape of parts on the example of car wheel diameter control systems / I. S. Leksutov, V. P. Kluka // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 1. – P. 248–256. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_248.

Сведения об авторах

Лексупов Илья Сергеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: Leksutov@mail.ru

Клюка Владислав Петрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой,
e-mail: vklyuka@mail.ru

Information about the author

Leksutov Ilya Sergeevich

Omsk State Transport University (OSTU),
Chair «Railway Cars and Railway Car Facilities»,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: Leksutov@mail.ru

Kluka Vladislav Petrovich

Omsk State Transport University (OSTU),
Chair «Railway Cars and Railway Car Facilities»,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: vklyuka@mail.ru