

ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

УДК 629.4.027.5

Развитие использования дистанционных измерений по определению геометрических параметров колесных пар

А. Г. Нуриев, Э. Ю. Чистяков, Н. А. Битюцкий

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Нуриев А. Г., Чистяков Э. Ю., Битюцкий Н. А. Развитие использования дистанционных измерений по определению геометрических параметров колесных пар // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 1. — С. 7–18. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-7-18

Аннотация

Цель: Измерение является важным процессом для нахождения значений любой физической величины. Первостепенным требованием любого измерения является точность. Постепенно заменяются, улучшаются и автоматизируются процессы. Измерение геометрических параметров стало одним из самых популярных процессов во всех отраслях промышленности. С ее улучшений и начались первые достижения. Развитие использования дистанционных измерений по определению геометрических параметров колесных пар даст огромные преимущества перед ручными измерениями для железнодорожной отрасли, так как они облегчат и ускорят процесс измерений с минимальной погрешностью. Статья посвящена исследованию применения дистанционных измерений для определения геометрических параметров колесных пар. В статье рассмотрены преимущества использования дистанционных измерений при проведении геометрических исследований колесных пар. Авторы предлагают методы и алгоритмы, которые могут быть использованы для более точного определения геометрических параметров колесных пар. Также авторы предлагают ряд рекомендаций по использованию дистанционных измерений при исследовании колесных пар для достижения максимальной точности измерений. Кроме того, рассматриваются риски ручных шаблонов, которые дистанционный способ измерений помогает избежать. Помимо самих измерений, которые производят ручной и дистанционный способы, рассмотрены также их калибровки. Описана калибровка ручного шаблона УТ-1 в соответствии с его методикой калибровки, а также приведены сложности калибровки системы контроля колесных пар на ходу 3DWheel, приведена схема, которая показывает составляющие для его калибровки. В заключение авторы обсуждают перспективы дальнейшего использования дистанционных измерений для изучения геометрии колесных пар. Целью работы является рассмотрение использования дистанционных измерений по определению геометрических параметров колесных пар. **Методы:** Оценка использования дистанционных измерений по определению геометрических параметров колесных пар на примере тестировщиков. **Результаты:** Определена возможность использования дистанционных измерений по определению геометрических параметров колесных пар, выявлены преимущества и недостатки перед ручными измерениями. **Практическая значимость:** Оценена возможность использования дистанционных измерений по определению геометрических параметров колесных пар, которая позволит снизить затраты на транспортировку ручных шаблонов для их периодической калибровки и уменьшит затрачиваемое время на метрологическое обслуживание.

Ключевые слова: Дистанционное измерение, информационные технологии, колесная пара, ручные измерения, шаблон УТ-1, погрешность.

Введение

В настоящее время для измерения геометрических параметров колесных пар применяются ручные приборы. Одним из таких средств измерения является шаблон УТ-1 (универсальный тяговый). Им измеряют каждое отдельное колесо, на что тратится достаточное количество сил и времени. Данный способ вжился в железнодорожную среду, но технический прогресс не стоит на месте и с каждым днем придумывают новые методы и способы улучшить или заменить «устаревшие» методики измерений. Альтернативой ручному способу измерений являются дистанционные измерения по определению геометрических параметров колесных пар.

Как и любые приборы, их нужно калибровать. Калибровка средств измерений — совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений [1].

В данной статье будет рассмотрено развитие использования дистанционных измерений по определению геометрических параметров колесных пар на примере системы контроля колесных пар на ходу 3DWheel, также их преимущества и недостатки. Предполагается, что использование такой системы приведет к положительному эффекту.

Геометрические параметры колесной пары

Колесные пары представляют собой конструкцию, в которую входят два или более колес. Они широко используются для транспортировки тяжелых грузов, а также для улучшения управляемости и увеличения точности перемещения [2–6].

В данной статье рассмотрим колесную пару как основной элемент ходовой части локомотива, а именно бандажную колесную пару электровоза. Колесная пара электровоза состоит из оси, зубчатого колеса, двух колесных центров и двух бандажей с бандажными кольцами (рис. 1) [7, 8].

Одним из основных геометрических параметров колесной пары является расстояние между внутренними поверхностями гребней колес колесной пары. Для российских дорог это расстояние равно 1440 мм с допусками ± 3 мм для колеи шириной 1520 и 1524 мм [9].

На рис. 2 изображены измеряемые в эксплуатации параметры бандажа.

Измерение геометрических параметров колесной пары ручным способом

Для измерения геометрических параметров колесной пары ручным способом необходим шаблон УТ-1, который предназначен для измерения и контроля толщины гребня и его высоты, параметра крутизны гребня проката и ползуна на поверхности катания бандажа у колесных пар с новыми профилями бандажей.

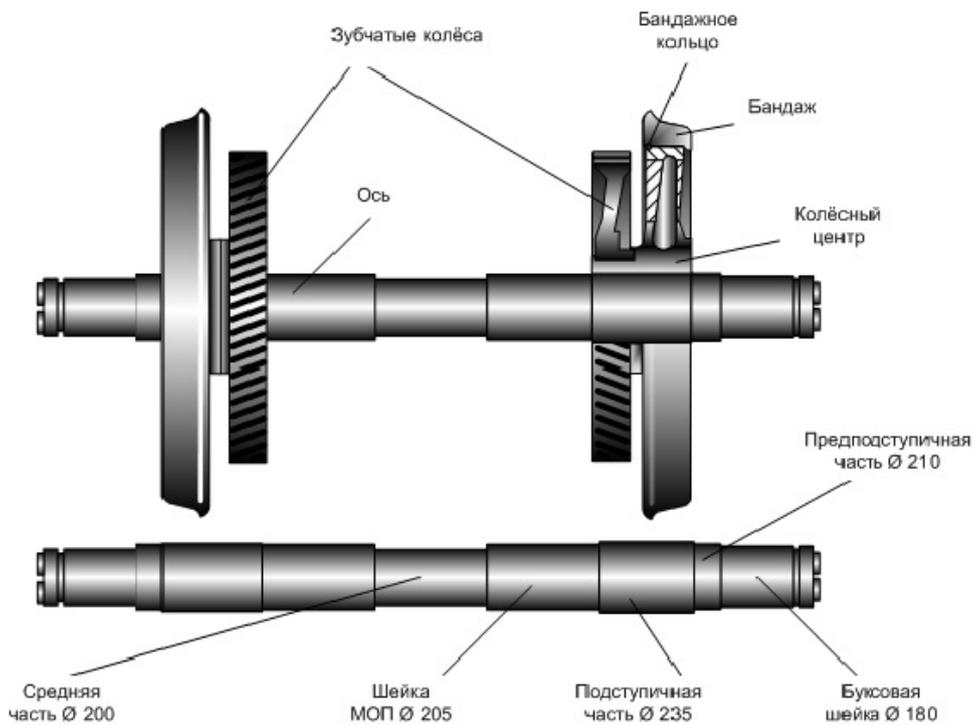


Рис. 1. Составляющие колесной пары [8]

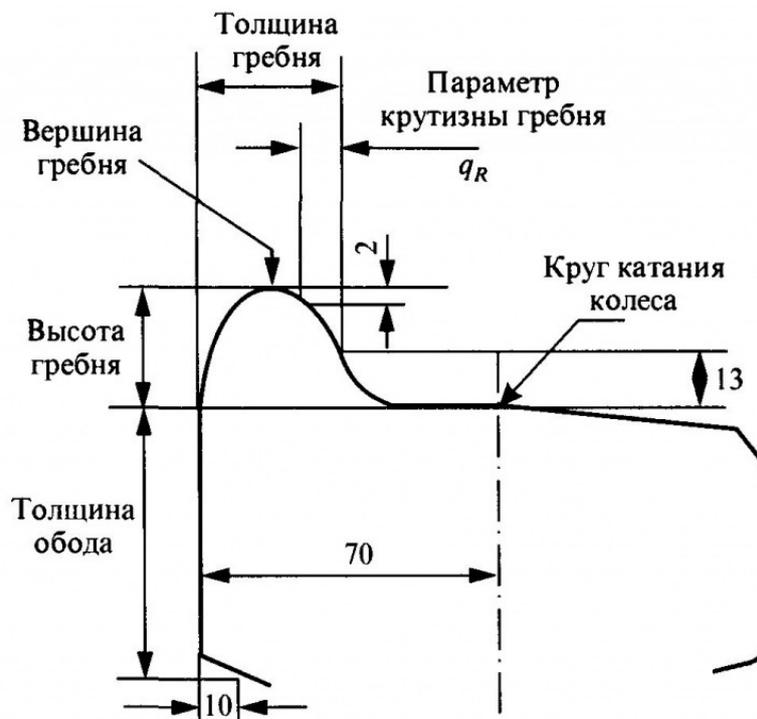


Рис. 2. Измеряемые параметры бандажа [10]

Шаблон модели УТ-1 (рис. 3) представляет собой сборный металлический каркас с системой рамок с зажимными устройствами и измерительных линеек. Количество линеек определяется числом контролируемых параметров и равно трем.

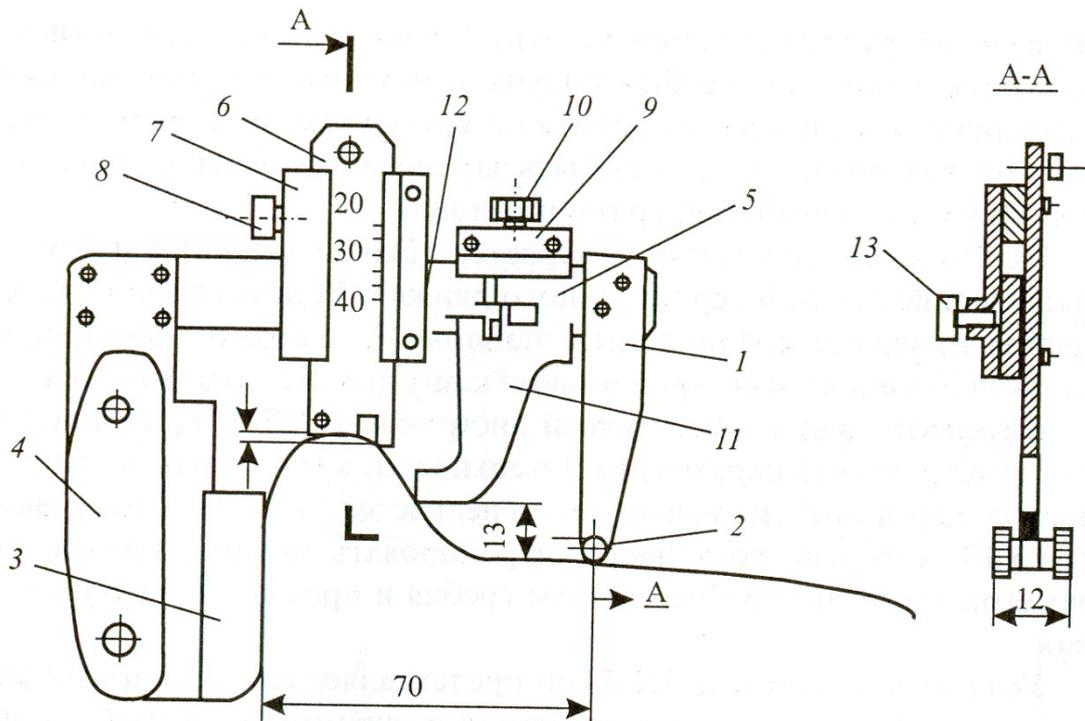


Рис. 3. Шаблон УТ-1

При подготовке шаблона к замерам контролируемого колеса освобождают все зажимные винты 8, 10, затем отводят рамку 9 с измерительной ножкой 11 вправо, отводят рамку 7 также вправо, поднимают линейку 6 вверх. Шаблон устанавливают на контролируемое колесо в его радиальной плоскости так, чтобы вертикальная опора 1 оперлась на поверхности катания, а постоянный магнит 3 плотно прилегал к внутренней грани обода.

Смещая линейку 6 по вертикали вниз до соприкосновения ее торца с вершиной гребня и сдвигая рамку 7 по горизонтали влево до упора 2 миллиметрового выступа линейки с поверхностью гребня, винтом 8 и винтом на задней части шаблона фиксируют положение линейки 6, рамки 7. Перемещают рамку 9 по горизонтальной штанге 5 влево до упора измерительной ножки 11 в поверхность гребня колеса и фиксируют рамку винтом 10. Сняв шаблон с колеса, считывают показания по трем контролируемым параметрам:

- на вертикальной линейке 6 — высота гребня;
- на шкале горизонтальной штанги-линейки 5 — толщина гребня;
- на линейке 12 — параметр крутизны гребня.

Для повышения устойчивости при опирании шаблона на круг катания вертикальный упор 1 имеет дополнительную опору 2, увеличивающую ширину опирания до 12 мм [10]. За фиксацию рамки отвечает зажимной винт 13, расположенный с тыльной стороны шаблона.

Помимо проведения измерений шаблон УТ-1 необходимо калибровать, чтобы удостовериться, что прибор точный и значения не выходят за установленные границы.

При проведении калибровки должны применяться следующие средства измерений:

- лупа типа ЛИ 3-10х ГОСТ 25706;
- образцы шероховатости ГОСТ 9378—93;
- набор щупов № 2 ТУ2-034-225—87;
- линейка ЛД-1-80 ГОСТ 8026—92;
- плита 1-1-630х500 ГОСТ 10905—86;
- плоскопараллельные концевые меры длины 4 разряда МИ 1604—87;
- стойка 15СТ-М ТУ2-034-623;
- микроскоп УИМ-23 ГОСТ 8074—82;
- микрометр МК-25 ГОСТ 6507—90.

Допускается использование других средств калибровки, имеющих аналогичные характеристики [11]. Все используемые средства калибровки должны иметь действующие документы о поверке.

На калибровку данного прибора необходимо отвести большое количество времени, так как она проводится по 11 параметрам и каждое измерение должно тщательно проверяться.

Исходя из перечисленной методики измерений колесной пары, ручной способ измерения предусматривает измерение каждого колеса отдельно, следовательно, необходимо большое количество времени, человеческих ресурсов и материально-технического обеспечения. Альтернативным способом является дистанционное измерение геометрических параметров колесных пар.

Измерение геометрических параметров колесной пары дистанционным способом

Для проведения дистанционного измерения геометрических параметров колесной пары используется система контроля колесных пар на ходу 3DWheel (рис. 4).

Система предназначена для бесконтактного автоматического измерения геометрических параметров колесных пар железнодорожного подвижного состава (локомотивов, вагонов, метро, трамваев) в реальном времени и использует комбинацию 2D лазерных сканеров, установленных по обе стороны рельса [12].

Система легко устанавливается на любом типе рельсовой инфраструктуры.

Цикл измерения начинается, когда индуктивный датчик обнаруживает колесо.

Профили колес снимаются в момент прохождения их через зону сканирования (рис. 5).

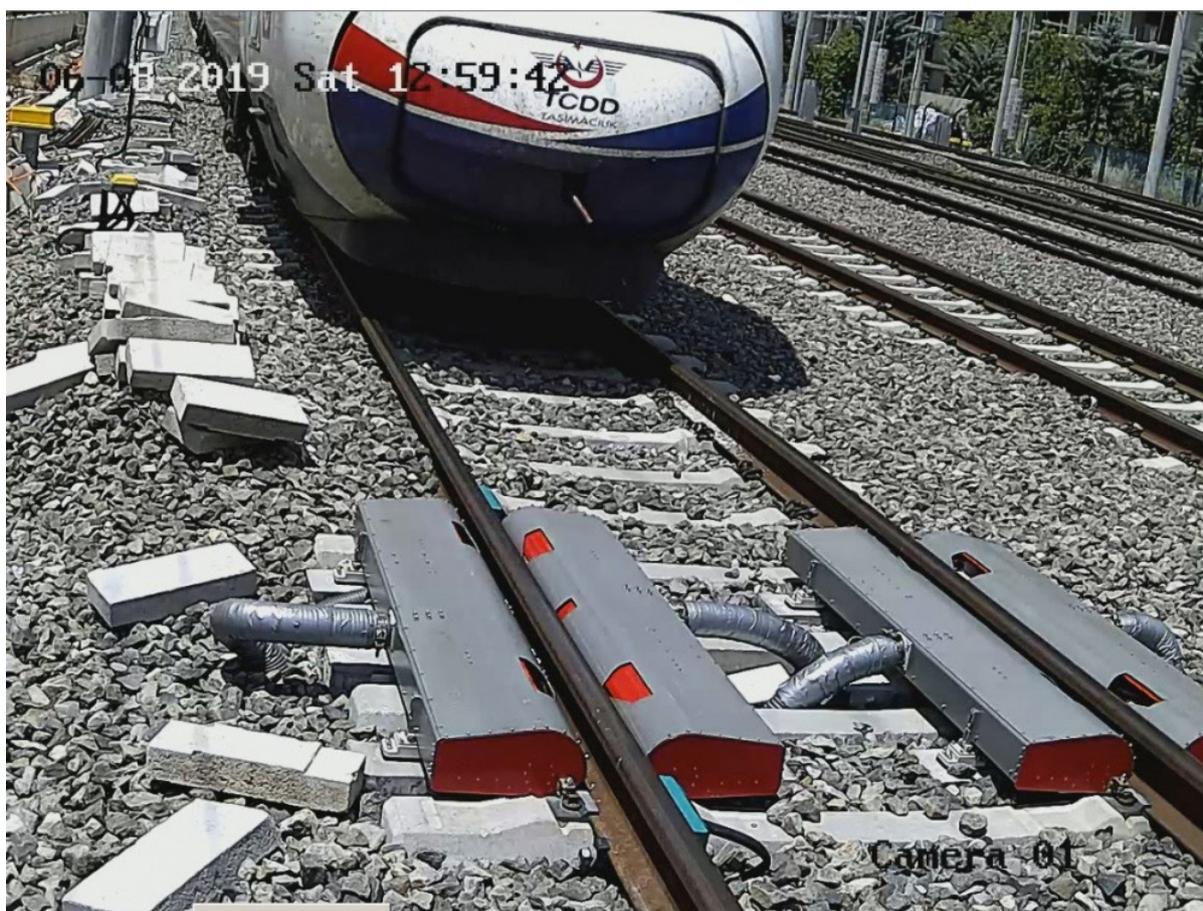


Рис. 4. Установленная система контроля колесных пар на ходу 3DWheel

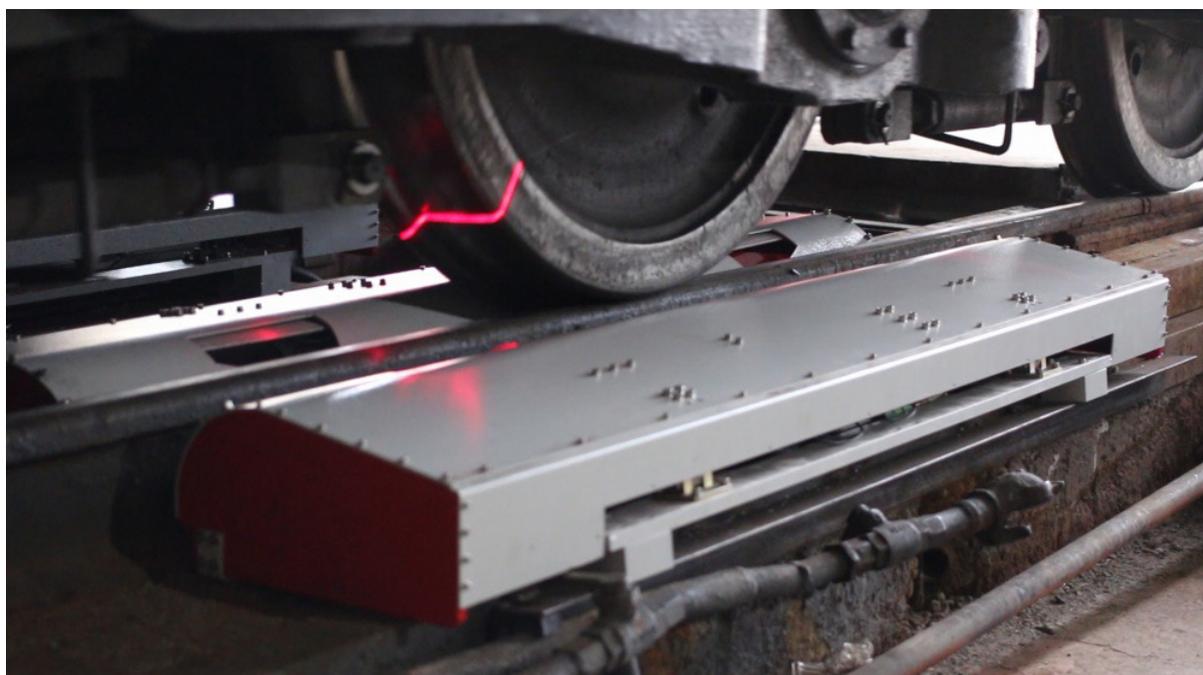


Рис. 5. Считывание геометрических параметров колесных пар системой контроля 3DWheel

ТАБЛИЦА 1. Погрешность измерений системы контроля 3DWheel при разных скоростях поезда

| Измеряемые параметры | Максимальная погрешность измерения при скорости поезда | | |
|-----------------------------|--|------------|-------------|
| | до 10 км/ч | до 60 км/ч | до 120 км/ч |
| Высота гребня, мм | ±0,2 | ±0,4 | ±0,6 |
| Толщин гребня, мм | ±0,2 | ±0,4 | ±0,6 |
| Крутизна гребня, мм | ±0,2 | ±0,4 | ±0,6 |
| Толщина бандажа, мм | ±0,5 | ±0,5 | ±1,0 |
| Ширина бандажа, мм | ±0,3 | ±0,5 | ±1,0 |
| Диаметр колеса, мм | ±0,5 | ±0,5 | ±1,0 |
| Межбандажное расстояние, мм | ±0,3 | ±0,5 | ±1,0 |

Все показания измерений посылаются через Ethernet на управляющий компьютер для построения профилей колес и расчета размеров. Все результаты измерений сохраняются в базе данных управляющего компьютера.

Существуют две модели системы контроля колесных пар на ходу 3DWheel: 3DWheel.60 и 3DWheel.120. Модель 3DWheel.60 предназначена для грузовых и пассажирских поездов, максимальная скорость которых не превышает 60 км/ч. Модель 3DWheel.120 предназначена для высокоскоростных поездов, максимальная скорость которых не превышает 120 км/ч.

В табл. 1 указаны погрешности системы контроля колесных пар на ходу 3DWheel при разных скоростях поезда. Они получены экспериментальным путем и проведены многократно, что подтверждает точность максимальной погрешности измеряемых параметров.

Недостатками данной системы контроля являются его дороговизна по сравнению с ручным шаблоном и сложность выполнения калибровки системы 3DWheel.

Алгоритм выполнения калибровки системы контроля 3DWheel представлен в руководстве пользователя Real Time Wheels Geometry Measurement System [13]. Необходимые составляющие для калибровки 3DWheel представлены на рис. 6.

Из данного рисунка мы можем сделать вывод, что сложность калибровки системы контроля колесных пар на ходу 3DWheel заключается в наличии специального оборудования и знаний.

В ходе анализа статьи были выявлены риски, которые дистанционный способ измерений помогает избежать в сравнении с ручным способом. Они изображены на рис. 7.

Исходя из рис. 7 мы можем оценить полезность дистанционного способа измерений, так как он исключает большое количество рисков. Одним из важных рисков является субъективная погрешность, которая может привести к сходу поезда с рельсов, следовательно, к большим человеческим жертвам и повреждению грузов. Дистанционный способ поможет быстро среагировать и заменить колесную пару на новую, которая удовлетворяет установленным требованиям.



Рис. 6. Составляющие для калибровки системы 3DWheel

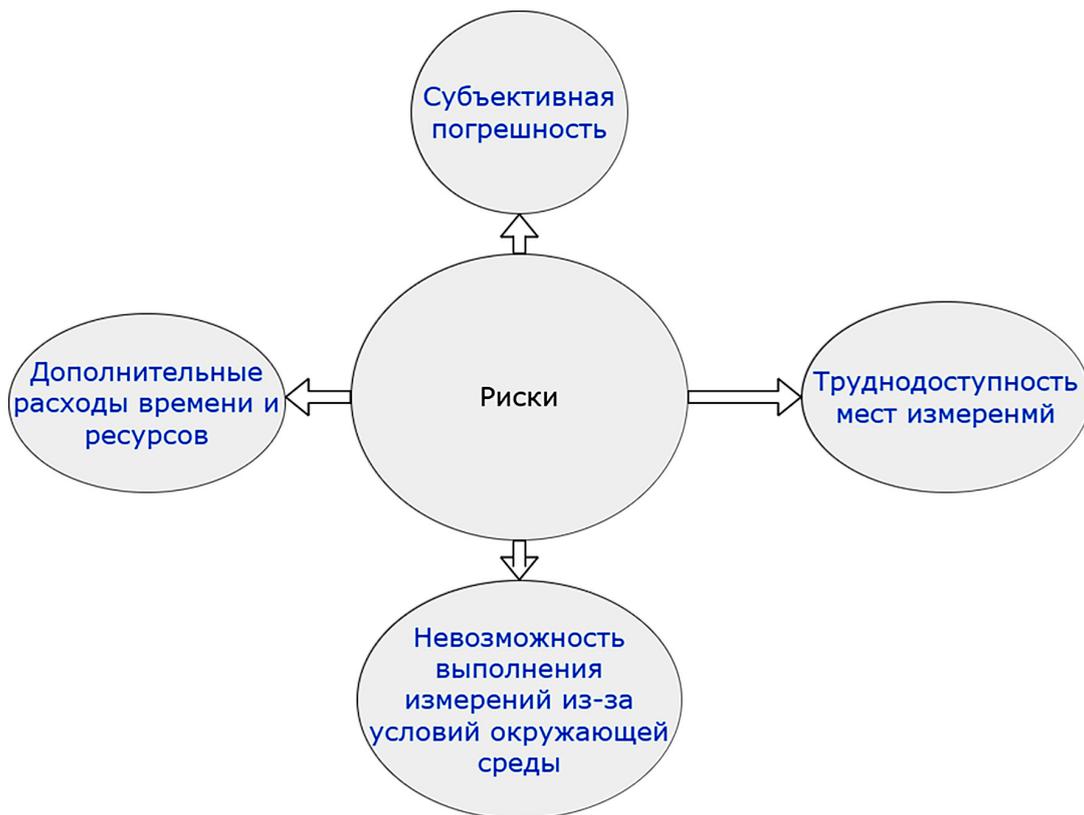


Рис. 7. Риски, возникающие при ручных измерениях геометрических параметров колесных пар

Заключение

Развитие использования дистанционных измерений по определению геометрических параметров колесных пар железнодорожных путей имеет ряд преимуществ. Дистанционная система контроля геометрических параметров колесных пар железнодорожных путей имеет следующие плюсы перед ручными измерениями:

- скорость и точность измерений выше, чем у ручных шаблонов, что дает возможность сделать более точные измерения;
- исключение человеческого фактора, появления субъективной погрешности;
- основные затраты составят покупка и установка оборудования;
- быстрое реагирование и замена колесной пары, которая не удовлетворяет установленным требованиям по полученным измерениям;
- нет необходимости в наличии большого количества осмотрщиков;
- не нужны рабочие для контроля процесса измерения;
- удобный доступ к измерениям;
- бесконтактный метод измерения, который выполняется на движущихся поездах;
- автоматическое распознавание номера поезда и автоматический запуск процесса измерения;
- возможность получать данные по электронной почте или SMS.

Также существуют случаи, когда прямые наблюдения сложно выполнить. Например, когда окружающая среда (ландшафт) является труднодоступной. В этом случае дистанционные измерения являются удобным решением.

Недостатками дистанционной системы контроля геометрических параметров колесных пар железнодорожных путей являются:

- дорогостоящая система относительно ручного шаблона;
- сложная методика калибровки для понимания работниками, так как необходимы знания в области компьютерного обеспечения и специальные знания об устройстве датчиков для его калибровки.

Несмотря на эти недостатки, дистанционный способ измерений геометрических параметров колесных пар точнее, быстрее и удобнее. А именно к этим свойствам и стремится технический прогресс.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» // Российская газета. — 2008. — № 140.
2. Кротов С. В. Контакт железнодорожного колеса с рельсом / С. В. Кротов, Д. П. Кононов, А. А. Воробьев. — Казань, 2023.

3. Валинский О. С. Повышение работоспособности колесных пар подвижного состава / О. С. Валинский, А. А. Воробьев, С. И. Губенко и др. — Казань, 2022.
4. Иванов И. А. К вопросу о влиянии структуры поверхности слоя на эксплуатационные свойства железнодорожного колеса / И. А. Иванов, С. И. Губенко, А. А. Воробьев // Транспорт Урала. — 2010. — № 2(25). — С. 56–60.
5. Орлова А. М. Определение параметров контакта колеса с рельсом для различных условий эксплуатации полувагона / А. М. Орлова, А. А. Воробьев, А. В. Саидова и др. // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2015. — № 2(43). — С. 74–84.
6. Воробьев А. А. Исследование напряженного состояния пятна контакта колеса и рельса / А. А. Воробьев, П. Г. Сорокин // Новые материалы и технологии в машиностроении. — 2004. — № 3. — С. 8–18.
7. Приказ от 23 июня 2022 г. № 250 «Об утверждении правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации».
8. Дайлидко А. А. Конструкция электровозов и электропоездов: для студентов техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / А. А. Дайлидко, Ю. Н. Ветров, А. Г. Брагин. — ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2014. — 346 с.
9. Николаев А. Ю. Устройство и работа электровоза ВЛ80с: учебное пособие для образовательных учреждений железнодорожного транспорта, осуществляющих профессиональную подготовку // А. Ю. Николаев, Н. В. Сесявин; под ред. А. Ю. Николаева. — М.: Маршрут, 2006. — 510 с.
10. Выписка из инструкции № ЦТ-329 от 14 июня 1996 г. «Инструкция по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм».
11. Шаблон универсальный УТ-1М. Методика калибровки. 08ДК.401112.480 ДМК. — Челябинский завод измерительных приборов, 2018. — 10 с.
12. Система контроля колесных пар на ходу 3DWheel. — URL: https://riftek.com/ru/products/real_time_wheels_geometry_measurement_system/.
13. User's manual. Real time wheels geometry measurement system. 3DWheel Series // Riftek. — 2020. — 54 p.

Дата поступления: 01.02.2023

Решение о публикации: 01.03.2023

Контактная информация:

НУРИЕВ Али Гасаналиевич — студент; informatiks20@gmail.com

ЧИСТЯКОВ Эдуард Юрьевич — ст. преподаватель; chistyakov@pgups.ru

БИТЮЦКИЙ Никита Александрович — канд. техн. наук, доц. кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»; bna@engcenter.ru

Development of the Usage of Remote Measurements to Define Wheelset Geometric Parameters

A. G. Nuriev, E. Y. Chistyakov, N. A. Bitutsky

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Nuriev A. G., Chistyakov E. Yu., Bityutsky N. A. Development of the Usage of Remote Measurements to Define Wheelset Geometric Parameters. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 1, pp. 7–18. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-7-18

Summary

Purpose: Measuring is an important process for finding any physical quantity values. Any measurement primary requirement is an accuracy. Processes are being replaced, improved and automated gradually. Geometric parameter measurement has become one of the most popular processes in all industries. With its improvements, the first achievements have begun. The development of the usage of remote measurements to determine wheelset geometric parameters will give huge advantages over manual measurements for railway industry as they will facilitate and accelerate measurement process with minimal error. The article is devoted to the study of remote measurement application to determine wheelset geometric parameters. The article considers the advantages of remote measurement usage when conducting wheelset geometric research. The authors propose methods and algorithms that can be used for more accurate definition of wheelset geometric parameters. The authors also propose a number of recommendations on the use of remote measurements at wheelset investigation to achieve maximum measurement accuracy. In addition, the risks of manual templates, which remote measurement method helps to avoid, are considered. Besides the measurements themselves, which are implemented by manual and remote methods, their calibrations are also considered. The calibration of manual template UT-1 in accordance with its calibration methodology is described as well as the difficulties in the calibration of wheelset control system 3DWheel on a move are given, the scheme, which shows the components for this template calibration, is given. In conclusion, the authors discuss the prospects of further use of remote measurements to research wheelset geometry. The work purpose is to consider the application of remote measurements to define wheelset geometric parameters. **Methods:** Evaluation of the use of remote measurements to determine wheelset geometric parameters on tester examples. **Results:** The possibility to use remote measurements to define wheelset geometric parameters is determined, advantages and disadvantages over manual measurements are revealed. **Practical importance:** The capability of using remote measurements to define wheelset geometric parameters is evaluated that'll lower the costs on hand template transportation for template periodic calibration and reduce the time spent on metrological maintenance.

Keywords: Remote measurement, informational technologies, wheelset, manual measurements, UT-1 template, error.

References

1. Federal'nyy zakon ot 26 iyunya 2008 g. № 102-FZ “Ob obespechenii edinstva izmereniy” [Federal Law № 102-FZ of 26.06.2008 “On ensuring the uniformity of measurements”]. *Rossiyskaya Gazeta* [Russian newspaper]. 2008, № 140. (In Russian)
2. Krotov S. V., Kononov D. P., Vorobyov A. A. *Kontakt zheleznodorozhnogo koleasa s rel'som* [Contact of a railway wheel with a rail]. Kazan, 2023. (In Russian)
3. Valinsky O. S., Vorobyov A. A., Gubenko S. I. et al. *Povyshenie rabotosposobnosti kolesnykh par podvizhnogo sostava* [Improving the performance of wheel sets of rolling stock]. Kazan, 2022. (In Russian)

4. Ivanov I. A., Gubenko S. I., Vorobyev A. A. K voprosu o vliyaniy struktury poverkhnosti sloya na ekspluatatsionnye svoystva zheleznodorozhnogo koleasa [On the question of the influence of the layer surface structure on the operational properties of the railway wheel]. *Transport Urala* [Transport of the Urals]. 2010, Iss. 2(25), pp. 56–60. (In Russian)

5. Orlova A. M., Vorobyov A. A., Saidova A. V. et al. Opredelenie parametrov kontakta koleasa s rel'som dlya razlichnykh usloviy ekspluatatsii poluvagona [Determination of parameters of wheel-rail contact for various operating conditions of a gondola car]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University]. 2015, Iss. 2(43), pp. 74–84. (In Russian)

6. Vorobyev A. A., Sorokin P. G. Issledovanie napryazhennogo sostoyaniya pyatna kontakta koleasa i rel'sa [Investigation of the stress state of the contact spot of the wheel and rail]. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii* [New materials and technologies in mechanical engineering]. 2004, Iss. 3, pp. 8–18. (In Russian)

7. *Prikaz ot 23 iyunya 2022 g. № 250 “Ob utverzhdenii pravil tekhnicheskoy ekspluatatsii zheleznykh dorog Rossiyskoy Federatsii”* [Order № 250 dated June 23, 2022 “On Approval of the Rules of Technical Operation of Railways of the Russian Federation”]. (In Russian)

8. Dailidko A. A., Vetrov Yu. N., Bragin A. G. *Konstruktsiya elektrovozov i elektropoezdov: dlya studentov tekhnikumov i kolledzhey zheleznodorozhnogo transporta* [Construction of electric locomotives and electric trains: for students of technical schools and colleges of railway transport]. FGBOU “Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zh.-d. transporte” [FGBOU “Educational and Methodological Center for education on railway transport”], 2014, 346 p. (In Russian)

9. Nikolaev A. Y., Sesyavin N. V. *Ustroystvo i rabota elektrovoza VL80c: uchebnoe posobie dlya obrazovatel'nykh uchrezhdeniy zheleznodorozhnogo transporta, osushchestvlyayushchikh professional'nyu podgotovku* [The device and operation of the VL80s electric locomotive: a textbook for educational institutions of railway transport engaged in professional training]. Moscow: Marshrut Publ., 2006, 510 p. (In Russian)

10. *Vypiska iz instruktsii № TsT-329 ot 14 iyunya 1996 g. “Instruktsiya po formirovaniyu, remontu i sodержaniyu kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog kolei 1520 mm”* [Extract from Instruction № TsT-329 dated June 14, 1996 “Instructions for the Formation, Repair and Maintenance of Wheel Sets of Traction Rolling Stock of 1520 mm Gauge Railways”]. (In Russian)

11. *Shablon universal'nyy UT-1M. Metodika kalibrovki. 08DK.401112.480 DMK* [Universal template UT-1M. Calibration procedure. 08DK.401112.480 DMK]. Chelyabinskii zavod izmeritel'nykh priborov [Chelyabinsk Plant of measuring instruments], 2018, 10 p.

12. *Cistema kontrolya kolesnykh par na khodu 3DWheel* [Wheelset control system on the move 3DWheel]. Available at: https://riftek.com/ru/products/real_time_wheels_geometry_measurement_system/. (In Russian)

13. User Manual. Real-time wheel geometry measurement system. 3DWheel series. Riftek, 2020, 54 p.

Received: February 01, 2023

Accepted: March 01, 2023

Author's information:

Ali G. NURIEV — Student; informatiks20@gmail.com

Eduard Yu. CHISTYAKOV — Senior Lecturer; chistyakov@pgups.ru

Nikita A. BITYUTSKY — PhD in Engineering, Associate Professor, “Ground Transport and Technological Complexes” Department; bna@engcenter.ru