

Артёмов А.В.

старший преподаватель кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Татаринцев В.Ю.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Сотников Д.А.

студент 4 курса автомобильного факультета Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г. Ф. Морозова, РФ

Artemov A.V.

senior lecturer of the department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Pryadkin V.I.

Doktor of technical sciences, professor, department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Tatarintsev V.Yu.

assistant of the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Sotnikov D.A.

4th year student of the Automobile Faculty of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ШИН

APPLICATION OF TECHNICAL VISION SYSTEMS WHEN TESTING TIRES

Аннотация. В работе исследована возможность применения систем технического зрения для бесконтактной регистрации вертикальных перемещений шины при лабораторных испытаниях на стенде СИБ-1М. Видеотрекинг, реализованный в программной среде Kinovea, сравнивался с эталонным датчиком перемещений. Показана высокая согласованность результатов ($r > 0,999$), подтверждающая применимость видеометрии для анализа статических и динамических режимов работы шины.

Abstract. This study evaluates the applicability of machine vision techniques for contactless measurement of the vertical displacement of a tire during laboratory testing on the SIB-1M test bench. Video tracking performed in the Kinovea software environment was compared with data from a reference displacement sensor. The results demonstrate high agreement between the methods ($r > 0.999$), confirming the suitability of videometry for analysing both static and dynamic tire loading modes.

Ключевые слова: системы технического зрения, видеотрекинг, Kinovea, бесконтактные измерения, динамика колеса, испытания шин.

Keywords: machine vision systems, video tracking, Kinovea, contactless measurements, wheel dynamics, tire testing.

Введение

Современные автомобильные шины являются сложными инженерными изделиями, динамические характеристики которых напрямую влияют на безопасность и эффективность транспортного средства. Лабораторные испытания на специализированных стендах позволяют моделировать стационарные и нестационарные режимы работы (переезд неровностей, буксование, качение с уводом) [1].

В традиционных методах регистрации перемещений широко применяются контактные датчики. Несмотря на высокую точность, такие средства часто ограничивают возможности эксперимента: монтаж сенсоров способен влиять на исследуемый процесс, снижать пространственное разрешение и не позволяет фиксировать деформации на удаленных участках покрышки. В этой связи возрастает интерес к бесконтактным методам измерений, основанным на системах технического зрения [2].

Целью настоящей работы является экспериментальная оценка применимости видеотрекинга для измерения вертикальных перемещений шины на стенде СИБ-1М и анализ степени соответствия видеометрических данных показаниям эталонного датчика.

Материалы и методы

Эксперимент проводился на стенде СИБ-1М, моделирующем работу автомобильного колеса под действием вертикальной нагрузки [3]. Колесо с установленной шиной фиксировалось на валу стенда, нагружалось с помощью гидравлического привода и приводилось в движение в различных режимах. Общий вид экспериментальной установки представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Фрагмент проведения эксперимента

Видеосъемка выполнялась веб-камерой Logitech C270, расположенной сбоку от шины таким образом, чтобы обеспечить ее полный профильный обзор (рис. 2). В поле зрения камеры помещалась метка известного размера, служащая для калибровки масштаба, что позволяло переводить пиксельные координаты видеорядов в метрические величины [4].

Видеообработка осуществлялась в программе Kinovea, интерфейс которой представлен на рисунке 3 [5].



Рисунок 2 – Веб камера LogitechC270

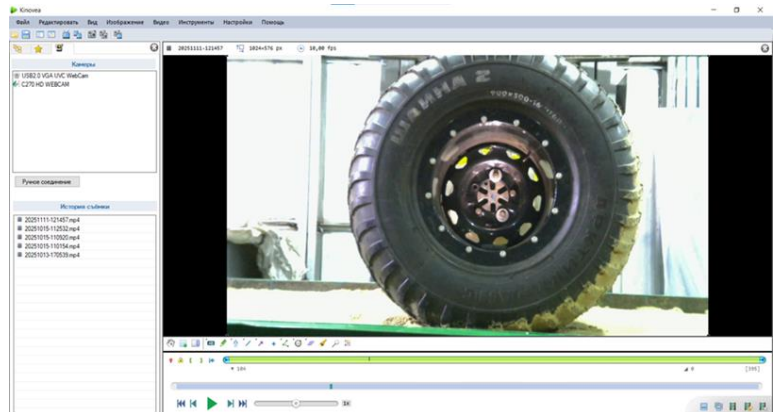


Рисунок 3 – Интерфейс программы

Получение искомых значений перемещения точки на ступице колеса под действием нагрузок на шину осуществлялось согласно схеме, представленной на рисунке 4.

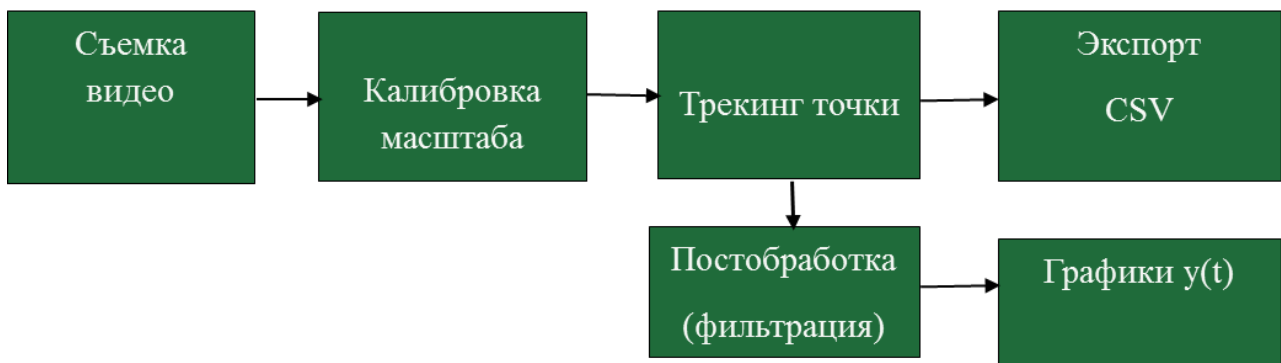


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма проведения эксперимента

На первом этапе выполнялась калибровка масштаба. Далее оператор выбирал реперную точку – центр ступицы либо нанесенный маркер, после чего программа выполняла автоматическое отслеживание ее вертикального перемещения $y(t)$. При

необходимости применялась фильтрация данных для снижения влияния шумов. Затем траектория экспортировалась в формате CSV для последующего анализа.

Исследуемые режимы включали радиальную обжимку, характеризующуюся пригрузкой шины до заданного уровня (рис. 5), а также проезд с буксованием – режим с частичной потерей сцепления между шиной и опорной поверхностью (рис. 6) [6]. Оба режима позволяли оценить устойчивость видеотрекинга как при квазистационарных деформациях, так и при быстром изменении состояния шины.



Рисунок 5 – Радиальная обжимка шины



Рисунок 6 – Качение колеса с буксованием

Для проверки достоверности видеометрии результаты сопоставлялись с показаниями мирового датчика перемещений [7]. Основным критерием оценки точности являлись коэффициент корреляции r между временными зависимостями перемещений, а также среднеквадратическая ошибка RMSE.

Результаты и обсуждение

В режиме радиальной обжимки видеометрия продемонстрировала высокую степень согласованности с эталонным измерительным каналом. Сопоставление графиков вертикальных перемещений (рис. 7) показывает практически полное совпадение кривых. Коэффициент корреляции составил $r \approx 0,9995$, а среднеквадратическая ошибка – $RMSE \approx 0,096$ мм. Такое значение погрешности находится в пределах допуска для задач анализа деформации шины под статической нагрузкой [8].

В режиме проезда с буксованием наблюдалось увеличение RMSE до $\approx 0,70$ мм при сохранении высокой корреляции ($r \approx 0,9996$) (рис. 8). Данное увеличение связано, прежде всего, с ограниченной частотой кадров веб-камеры, что приводит к сглаживанию быстрых переходных процессов и не позволяет достоверно фиксировать пики вибраций шины. Тем не менее даже в динамическом режиме видеотре-

кинг обеспечивает приемлемую точность и корректно воспроизводит общую динамику вертикальных перемещений.



Рисунок 7 – Зависимость вертикального перемещения реперной точки от времени опыта при вертикальной обжимке шины

Визуальный анализ графиков подтверждает практически полное совпадение формы сигналов и отсутствие систематического смещения между методами. Небольшие расхождения наблюдаются в областях высокочастотных колебаний, что соответствует ожидаемым ограничениям бытовой видеокамеры [9].

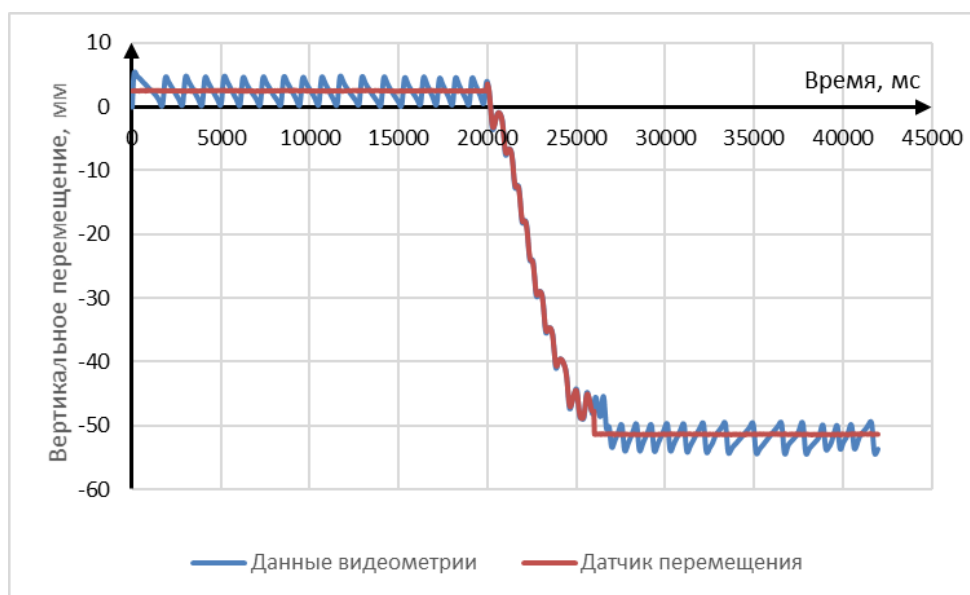


Рисунок 8 – Зависимость вертикального перемещения реперной точки от времени опыта при качении колеса с буксованием

Проведенные исследования показывают, что системы технического зрения способны обеспечить достоверную регистрацию перемещений шины в условиях лабораторных испытаний. Применение недорогой веб-камеры в сочетании с программой Kinovea позволяет обеспечить высокую точность в статических и квазистационарных режимах. В динамических режимах точность ограничивается частотой кадров и отсутствием специализированных алгоритмов стабилизации, однако остается достаточной для анализа основных характеристик отклика шины.

К числу факторов, влияющих на точность, относятся качество освещения, положение камеры, стабильность расположения калибровочной метки и присутствие паразитных вибраций. Эти факторы необходимо учитывать при постановке эксперимента.

Для повышения точности и расширения функциональных возможностей метода целесообразно внедрение высокоскоростных камер USB3 или GigE, обеспечивающих частоту кадров от 120 fps и выше. Дополнительное улучшение устойчивости трекинга может быть достигнуто за счет применения специализированных маркеров ArUco либо AprilTag, а также перехода к собственному программному обеспечению на базе OpenCV [10]. Важным направлением является синхронизация видеоданных с системой АЦП стенда, что позволит проводить комплексный анализ нагрузок, деформаций и перемещений шины в едином временном масштабе.

Выводы

Экспериментальные исследования показали, что видеотрекинг обеспечивает высокую точность регистрации вертикальных перемещений шины при испытаниях на стенде СИБ-1М. Для обоих исследованных режимов были получены коэффициенты корреляции $r > 0,999$ при среднеквадратической ошибке менее 1 мм. Это подтверждает возможность использования систем технического зрения в качестве дополнительного или альтернативного средства измерения в задачах экспериментальной механики шин.

Дальнейшее развитие метода связано с применением более совершенной аппаратуры, повышением частоты кадров и внедрением специализированных алгоритмов компьютерного зрения.

Список литературы

1. Дятлов Е. И. Машинное зрение: аналитический обзор. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-zrenie-analiticheskiy-obzor> (дата обращения: 07.11.2025).

2. Сунь Х., Чжуан С., Костров А. А. и др. Обзор современных систем технического зрения, применяемых в транспортной отрасли. – URL: <https://top-technologies.ru/article/view?id=40150> (дата обращения: 07.11.2025).
3. Годжаев З.А. Упругие характеристики шины сверхнизкого давления. Вертикальные нагрузки / З.А. Годжаев, С.В. Гончаренко, А.В. Артемов, В.И. Прядкин, Т.З. Годжаев // Автомобильная промышленность. – 2020. – №8. – С. 18-21.
4. Шамышев А. А. Определение задачи измерения расстояния до объекта для систем компьютерного зрения с одним объективом. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-zadachi-izmereniiya-rasstoyaniya-do-obekta-dlya-sistem-kompyuternogo-zreniya-s-odnim-obektivom> (дата обращения: 07.11.2025).
5. Техническое зрение в системах управления / под ред. ИКИ РАН. – М.: ИКИ РАН, 2011. – URL: <https://www.iki.rssi.ru/books/2011tz.pdf> (дата обращения: 07.11.2025).
6. Годжаев З.А. Экспериментальная оценка тягово-сцепных качеств шины сверхнизкого давления / З.А. Годжаев, С.В. Гончаренко, А.В. Артемов, В.И. Прядкин, Т.З. Годжаев // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – №6. – С. 50-58.
7. Артемов А.В. Оценка увода шины сверхнизкого давления в ведущем режиме / А.В. Артемов, П.А. Колядин, В.И. Прядкин // Материалы МНПК «Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм». – 2020. – № 1(2). – С. 278-283.
8. Licher J. et al. Experimental Investigation of the Tire Wear Process Using a Camera-Based Method with Feature Point Matching. – 2023. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X23007065> (дата обращения: 07.11.2025).
9. Feng M. Q. et al. Non-Contact Vehicle Weigh-in-Motion Using Computer Vision. Measurement, 2020. – URL: <https://nscpolteksby.ac.id/ebook/files/Ebook/Journal%20International/Computer%20Engineering/Measurement/Non-Contact%20vehicle%20Weigh-in-Motion%20using%20computer%20vision%20-%20Volume%20153%2C%201%20March%202020%2C%20107415.pdf> (дата обращения: 07.11.2025).
10. Zhang J. et al. Noncontact Measurement of Tire Deformation Based on Computer Vision and Deep Learning. – 2023. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224123005985> (дата обращения: 07.11.2025).

References

1. Dyatlov, E. I. (2025). Machine Vision: Analytical Review. Retrieved November 7, 2025, from <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-zrenie-analiticheskiy-obzor>
2. Sun, H., Zhuang, S., Kostrov, A., et al. (2025). Review of Modern Vision Systems Used in the Transport Industry. Retrieved November 7, 2025, from <https://top-technologies.ru/article/view?id=40150>
3. Godzhaev, Z. A., Goncharenko, S. V., Artyomov, A. V., Pryadkin, V. I., & Godzhaev, T. Z. (2020). Elastic characteristics of an ultra-low-pressure tire: Vertical loads [Uprugiekharakteristiki shiny sverkhznizkogodavleniya. Vertikalnyenagruzki]. Automotive Industry, (8), 18–21.
4. Shamyshv, A. A. (2025). Determining the Problem of Measuring Distance to an Object for Single-Lens Computer Vision Systems. Retrieved November 7, 2025, from <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-zadachi-izmereniiya-rasstoyaniya-do-obekta-dlya-sistem-kompyuternogo-zreniya-s-odnim-obektivom>
5. Institute for Space Research RAS. (2011). Technical Vision in Control Systems. Moscow: IKI RAN. Retrieved November 7, 2025, from <https://www.iki.rssi.ru/books/2011tz.pdf>
6. Godzhaev, Z. A., Goncharenko, S. V., Artyomov, A. V., Pryadkin, V. I., & Godzhaev, T. Z. (2020). Experimental evaluation of the traction and adhesion properties of an ultra-low-pressure tire [Eksperimentalnayaotsenkatyagovo-stsepynykhkachestv shiny sverkhznizkogodavleniya]. Tractors and Agricultural Machinery, (6), 50–58.

7. Artyomov, A. V., Kolyadin, P. A., & Pryadkin, V. I. (2020). Assessment of slip (lateral deviation) of an ultra-low-pressure tire in driving mode [Otsenkavoda shiny sverkhnizkogodavleniya v vedushchemrezhime]. In Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Arctic: Innovative Technologies, Personnel, Tourism”, 1(2), 278–283.

8. Licher, J., et al. (2023). Experimental Investigation of the Tire Wear Process Using a Camera-Based Method with Feature Point Matching. Retrieved November 7, 2025, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X23007065>

9. Feng, M. Q., et al. (2020). Non-Contact Vehicle Weigh-in-Motion Using Computer Vision. Retrieved November 7, 2025, from <https://nscpolteksby.ac.id/ebook/files/Ebook/Journal%20International/Computer%20Engineering/M easurement/Non-Contact%20vehicle%20Weigh-in-Motion%20using%20computer%20vision%20-%20Volume%20153%2C%201%20March%202020%2C%20107415.pdf>

10. Zhang, J., et al. (2023). Noncontact Measurement of Tire Deformation Based on Computer Vision and Deep Learning. Retrieved November 7, 2025, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224123005985>