

Из зависимости (см. рисунок 3) следует, что при увеличении загрузки среднее значение эквивалентных напряжений на наружной поверхности ступицы цельнокатаного колеса возрастает.

Следующим шагом для верификации полученной в результате моделирования зависимости, является проведение экспериментальной напрессовки колеса на ось с дальнейшим её нагружением с регистрацией эквивалентных напряжений с помощью разработанного ранее устройства [4].

Список литературы

1 **Чернин, Р. И.** Совершенствование технологии контроля запрессовки колеса на ось при формировании колёсных пар вагонов / Р. И. Чернин // Перспективы развития транспортного комплекса : сб. статей / Белорус. науч.-исслед. ин-т трансп. «Транстехника» ; редкол.: В. С. Миленский [и др.] ; рец.: А. А. Ерофеев, А. О. Лобашев. – Минск : БелНИИТ «Транстехника», 2024. – С. 316–326. – URL: <https://www.transtekhnika.by/nauchnye-razrabotki/nauchnye-publikatsii/> (дата обращения: 15.09.2025).

2 Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524) мм (РД ВНИИЖТ 27.05.01-2017). – 253 с.

3 **Александров, А. В.** Сопротивление материалов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин. – М. : Высш. шк., 2000. – 560 с

4 Патент 2431 Респ. Беларусь № u 20050254 ; заявл. 02.05.2005 ; опубл. 28.02.2006. Устройство для контроля прочности механической напрессовки колеса на ось колёсной пары / В. И. Сенько, И. Л. Чернин, Р. И. Чернин, С. Ф. Гориченко ; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 1 (48). – С. 172–173.

УДК 528.854; 539.4

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЩИНЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. В. ШИЛЬКО, Е. Г. ОРЕШКЕВИЧ, А. П. САЗАНКОВ

Институт механики металлополимерных систем

им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель

Введение. Мониторинг геометрических параметров трещины (ширины, глубины, площади) в процессе разрушающих механических испытаний является важным этапом фрактографического исследования конструкционных материалов. К сожалению, традиционные методы анализа кинетики трещинообразования весьма трудоемки и нуждаются в автоматизации.

Целью исследования является разработка методики и программного обеспечения автоматизированного определения геометрических параметров трещины на основе анализа видеоизображений с возможностью интеграции с данными, получаемыми в программном обеспечении современных испытательных машин.

В работе использована оригинальная методика фрактографического исследования в виде программного приложения на языке Python с привлечением библиотек компьютерного зрения (OpenCV, NumPy, Pandas, Tkinter).

Разработанная компьютерная программа предназначена для обработки видеоизображений в форматах MP4, AVI, MOV и *.raw-файлов программного обеспечения испытательной машины, содержащих параметры испытаний (ширину образца, количество циклов нагружения и т. д.).

Общее описание работы программы

1 Загрузка данных. Пользователь загружает видеофайл и *.raw-файл через графический интерфейс (кнопки «Загрузить видео», «Загрузить RAW файл»). Видео копируется в буферную директорию (./predict/buffer_video), а *.raw-файл преобразуется для извлечения параметров образца.

2 Извлечение кадров. Видеозапись разбивается на отдельные кадры (PNG-изображения), сохраняемые в файле ./data/frames).

3 Калибровка масштаба. Ширина образца в пикселях рассчитывается путем трассировки лучей от фиксированной точки до контура образца в первом кадре. По известной ширине в миллиметрах определяется коэффициент масштабирования.

4 Анализ трещины. Для каждого кадра выполняются следующие действия.

4.1 Создается маска образца в HSV-цветовом пространстве (рисунок 1, а).

4.2 Для поиска краев трещины проводятся лучи от двух статических точек с угловым сканированием в диапазоне $\pm 90^\circ$ (рисунок 1, б).

4.3 Определяется наиболее глубокая точка трещины, как наиболее удаленная от линии, соединяющей края трещины (рисунок 2, а).

4.4 Рассчитывается центр трещины и ее площадь путем заливки области между краями и наиболее глубокой точкой (рисунок 2, б).

5 Обработка разрыва. Программа фиксирует кадр разрыва, когда глубина трещины становится равной ширине образца.

6 Сохранение результатов. Параметры трещины (ширина, глубина, площадь в пикселях и миллиметрах) сохраняются в виде Excel-файла. Дебаг-изображения (маски, лучи, области трещины) сохраняются в ./data/frames_debug для визуального контроля.

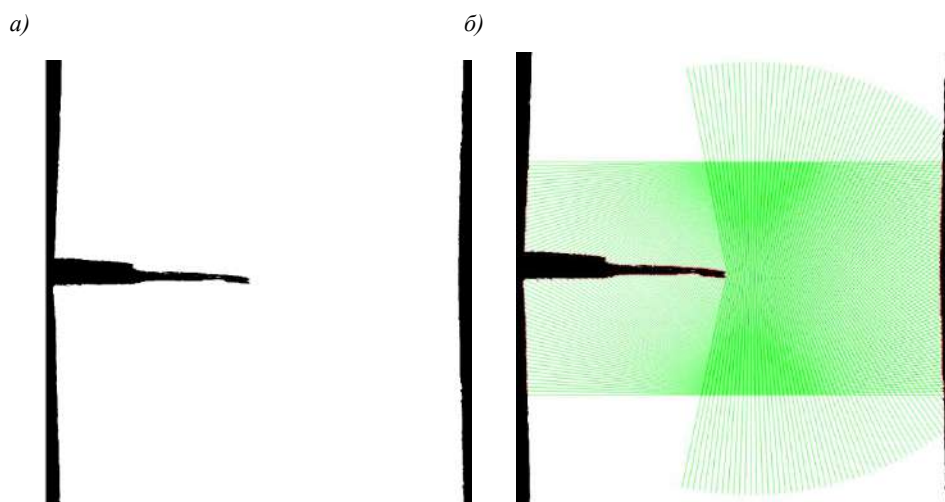


Рисунок 1 – HSV маска (а) и маска с рейтресингом (б)

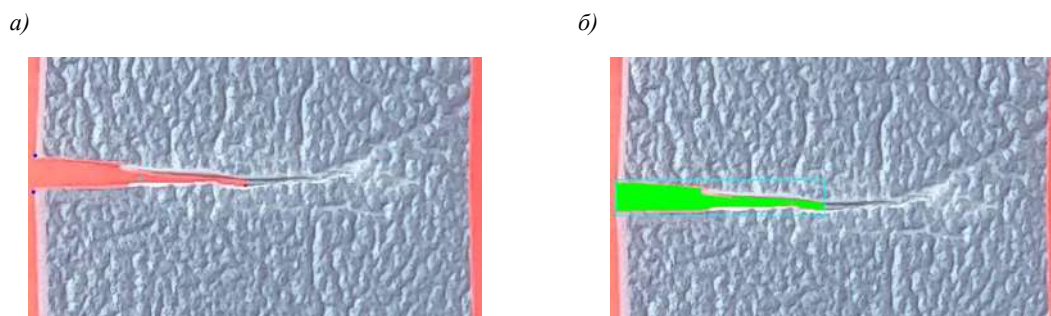


Рисунок 2 – Зона развития трещины с выделением глубины и ширины (а) и площади (б)

Программа была протестирована на нескольких видео (среднее значение – около 1000 кадров) разрушающих испытаний полимерных материалов, в частности, АБС-пластиков. Установлено, что обработка одного кадра занимает $\sim 3\text{--}4$ с, а точность измерений определяется калибровкой ($\pm 5\%$) и качеством видеосъемки (рекомендуемое разрешение – от 720 p).

Особенности и преимущества разработанной методики:

- автоматизация трудоемких элементов фрактографического анализа (исключение субъективности ручных измерений, интеграция с данными испытательной машины);
- повышение точности анализа (калибровка по ширине образца обеспечивает погрешность $\pm 5\%$, что ниже, чем при использовании визуальных методов;
- универсальность (применимость к испытаниям любых материалов при наличии видео и *.raw-данных).

Заключение. Разработанная методика и программное обеспечение обеспечивают эффективный и точный анализ геометрических параметров трещины в процессе механических испытаний конструкционных материалов. Совершенствование разработки предполагает применение алгоритмов машинного обучения для более глубокого анализа и прогнозирования разрушения с адаптацией под высокоскоростные видеокамеры и другие средства измерения.

Исследование поддержано БРФФИ (проект № T24МП-057 «Разработка и приборная реализация метода экспресс-оценки усталостной прочности полимерных композиционных материалов».

Список литературы

- 1 **OpenCV** / Официальная документация по библиотеке для анализа изображений на Python. – URL: <https://docs.opencv.org/4.x/index.html> (дата обращения: 16.08.2025).
- 2 **Pandas** / Официальная документация по библиотеке для анализа данных на Python. – URL: <https://pandas.pydata.org> (дата обращения: 16.08.2025).
- 3 **Numpy** / Официальная документация по библиотеке для научных вычислений на Python. – URL: <https://numpy.org> (дата обращения: 16.08.2025).
- 4 **Tkinter** / Официальная документация по библиотеке для создания пользовательского интерфейса на Python. – URL: <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html> (дата обращения: 16.08.2025).

УДК 629.4.027

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РЕЗИНОКОРДНОЙ МУФТЫ ЛОКОМОТИВА ПОД НАГРУЗКОЙ

А. О. ШИМАНОВСКИЙ, Ю. Д. КАРАЦЮБА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Резинокордная муфта (РКМ) локомотива обеспечивает передачу крутящего момента от тягового двигателя к осевому редуктору путем соединения вала двигателя и шестерни редуктора [1]. Использование упругой муфты позволяет скомпенсировать несоосность соединяемых валов, поскольку допускает некоторый излом и перекося их осей. Кроме того, наличие резинокордного элемента дает возможность снижения ударных нагрузок, возникающих в деталях привода в процессе движения [2]. РКМ применяются на электропоездах серий ЭР, ЭД, ЭП советского и российского производства, а также на некоторых локомотивах с гидравлической передачей для соединения элементов силовых и вспомогательных приводов, обладающих мощностью от 15 до 770 кВт [3].

При осмотрах выявляются такие повреждения РКМ, как трещины в поверхностном слое резины, достигающие до кордного слоя, разрыв резинокордного слоя вместе с капроновым кордом в районе крепления к металлическим частям (рисунок 1), износ поверхностного слоя резины до стального корда под фланцами крепления. Анализ статистической информации об эксплуатации 177 секций тягового подвижного состава в локомотивных (моторвагонных) депо показал, что в течение 2024 года зафиксировано 39 случаев разрушения болтов крепления РКМ и 26 – повреждения резинокордного слоя. Аналогичная ситуация наблюдалась при эксплуатации РКМ и на Латвийской железной дороге [4]. В подавляющем большинстве случаев повреждения болтов крепления наблюдаются у фланца тягового редуктора, а резинокордного слоя – со стороны тягового электродвигателя. Выход из строя РКМ приводит к остановке тягового подвижного состава на внеплановый ремонт, связанный с необходимостью разбора тяговой передачи.



Рисунок 1 – Разрыв резинокордного слоя вместе с капроновым кордом