

ФГБОУ ВО ИГЭУ им. В.И. Ленина
Кафедра теоретической и прикладной механики

Выпускная квалификационная работа

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА КОЛЕС ПОДВИЖНОГО
СОСТАВА, УПРОЧНЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ**

Выполнил: студент 4 курса 33 учебной группы **Варламов И.М.**

Научный руководитель: доцент кафедры ТиПМ, к.т.н., доц. **Шилов М.А.**

Иваново - 2018

Актуальность работы

Изучение темы взаимодействия колес с рельсами в настоящее время занимаются отечественные и зарубежные ученые, однако, несмотря на достигнутые успехи, проблема увеличения ресурса колесных пар подвижного состава путем улучшения условий взаимодействия рабочих поверхностей колесных пар и рельсов на микроуровне сохраняет остроту и требует своего дальнейшего решения.

Новизна

Новизна работы заключается в предложенной методике прогнозирования износа колеса в программном комплексе ABAQUS.

Цель работы: разработать модель, позволяющую оценивать износ колесных пар железнодорожных вагонов по средствам программного комплекса ABAQUS

Задачи

1. Построить 3D – модели, отвечающие реальным параметрам, взятых из ГОСТов (габариты, свойства материала)
2. Смоделировать износ в программном комплексе ABAQUS. Получить из результатов площадь контакта и контактное давление
3. Рассчитать коэффициенты износа при различных типах упрочнения, используя модель Арчарда и полученные данные
4. Провести эксперимент на машине трения 2070 СМТ – 1
5. Сравнить результаты численного моделирования с результатами эксперимента

Износ колесных пар и его типы

Износ - изменение размеров, формы, массы или состояния поверхности изделия или инструмента вследствие разрушения (изнашивания) поверхностного слоя изделия при трении.



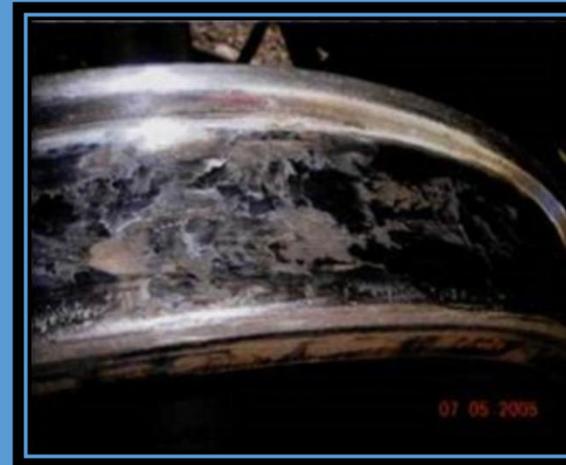
П о л з у н .
Причина: движение колеса «юзом», неисправность тормозного оборудования. Выявляется абсолютным шаблоном, вертикальным движком. Устраняется - обточкой



Выщербина.
Это выкрашивание твердых частиц поверхности катания. Причина : дефекты металла. Устраняется - обточкой.



Равномерный прокат .
Причина: стирание поверхности катания при взаимодействии колеса с рельсом и тормозными колодками. Устраняется - обточкой



Навар. Причина: смещение металла при кратковременном заклинивании колесной пары . Устраняется - обточкой

Моделирование износа колес ж/д вагонов в программном комплексе ABAQUS

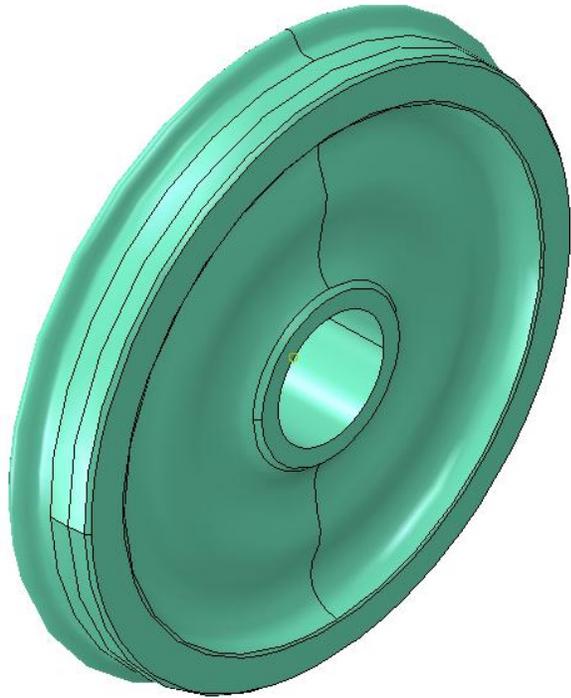


Рис. 3. Модель колеса без упрочнения и с упрочнением объемной закалкой

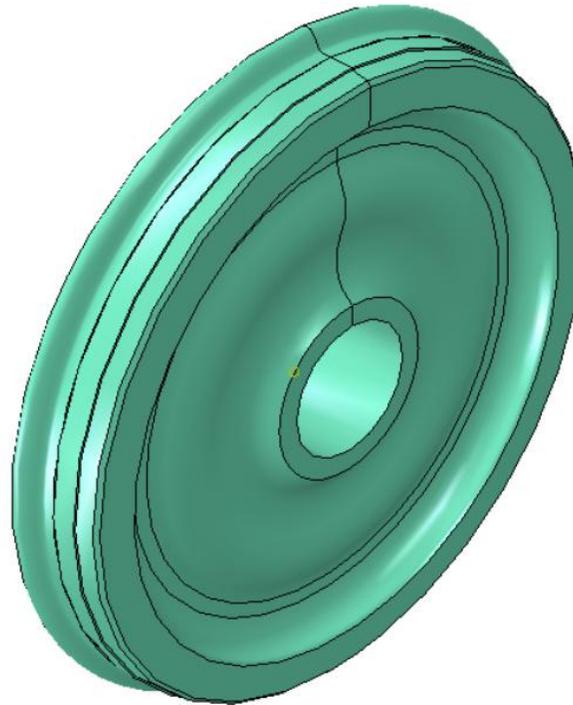


Рис. 4. Модель колеса, упрочненная лазерным поверхностным напылением

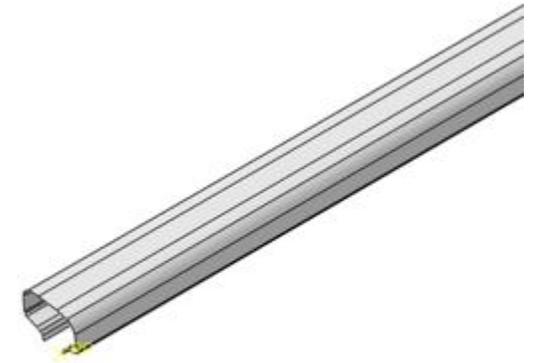


Рис. 5. Модель головки рельса Р50

Моделирование износа колес ж/д вагонов в программном комплексе ABAQUS

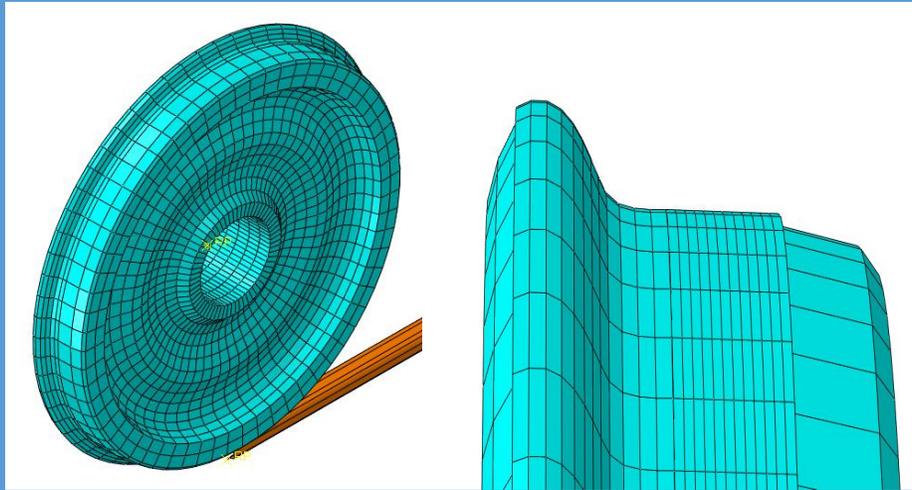


Рис. 6. Конечно – элементная сетка модели



Рис. 7. Общий вид системы

Свойства материала

Mass Density	Young's Modulus	Poisson's Ratio
7.85E-009	200000	0.3

Рис. 8 . Без упрочнения

Mass Density	Young's Modulus	Poisson's Ratio
8.2425E-009	210000	0.27

Рис. 9. Объемная закалка

Mass Density	Young's Modulus	Poisson's Ratio
9.42E-009	240000	0.25

Рис. 9. Поверхностное напыление

Результаты расчета в ABAQUS

Без упрочнения

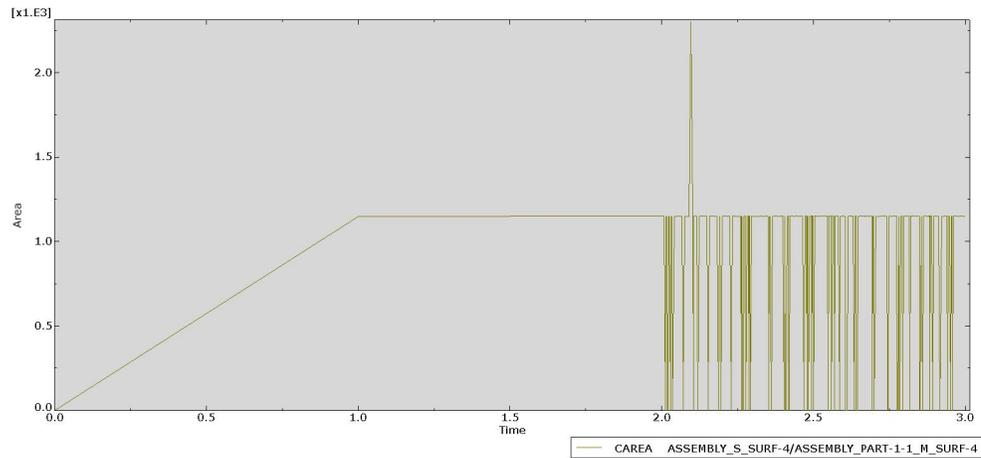


Рис. 13. Площадь контакта

Объемная закалка

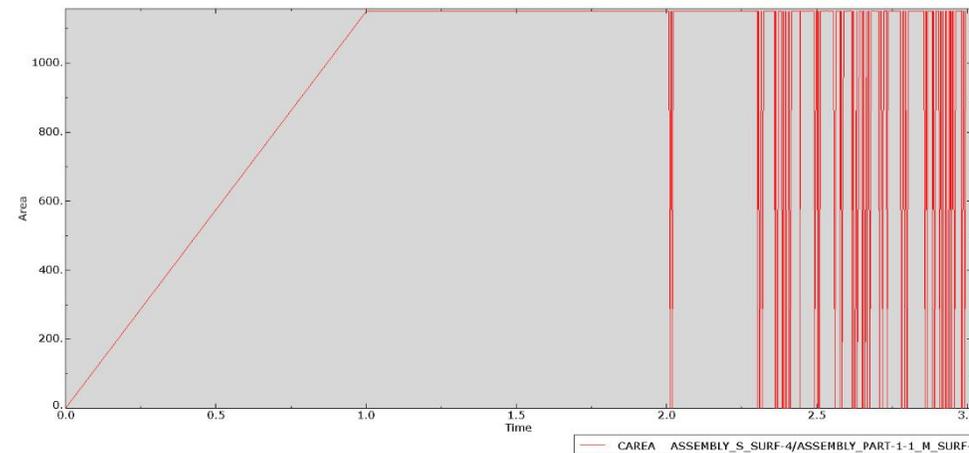


Рис. 14. Площадь контакта

Поверхностное напыление

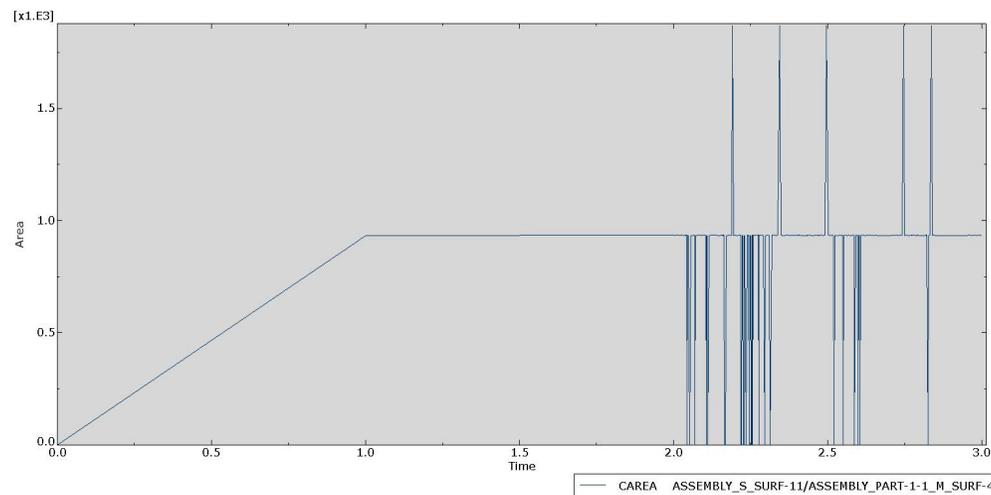
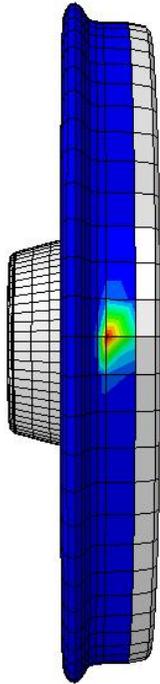
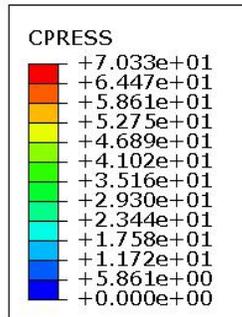


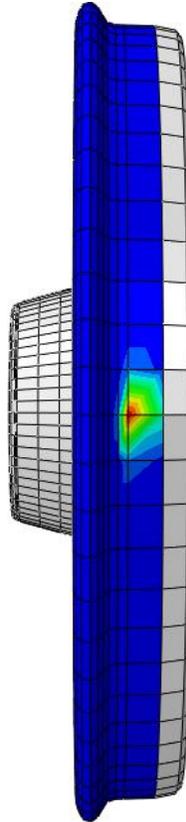
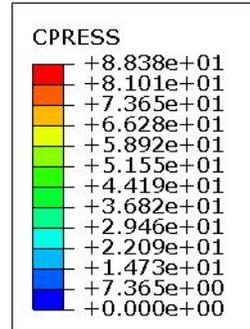
Рис. 15. Площадь контакта

Результаты расчета в ABAQUS

Без упрочнения



Объемная закалка



Поверхностное напыление

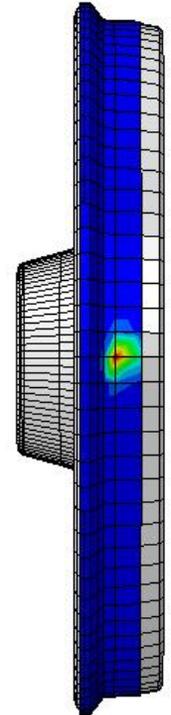
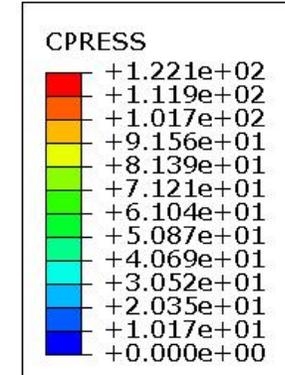


Рис. 10. Контактное давление

Рис. 11. Контактное давление

Рис. 12. Контактное давление

Расчет коэффициентов износа по результатом компьютерной модели

Наименование величины, ед. изм.	Образец 1 (Сталь 3)	Образец 2 (Сталь 3 объемное упрочнение)	Образец 3 (Сталь 3 с поверхностным напылением)
Коэффициент трения, μ	0,1	0,1	0,1
Предел прочности, σ , МПа	490	530	600
Модуль упругости E , Па	$2 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{11}$	$2,4 \cdot 10^{11}$
Напряжение в контакте σ , МПа	23,7	18,5	25,5
Нормальная нагрузка F_n , кН	78	78	78
Площадь пятна контакта A_N , мм ²	115	114	90
Коэффициент аккумуляции энергии трения, ρ^*	10^{-10}	10^{-10}	10^{-10}

Примерный расчет безразмерного коэффициента износа

$$K_{\omega 1} = \frac{2\mu EA_N \sigma}{\sigma_B^2 F_n} \rho = 1,91 \cdot 10^{-10} \quad K_1^{teor} = K_{\omega 1} \cdot \sigma = 1,48 \cdot 10^{-10}$$

* Лазарев В.Е., Гаврилов К.В., Дойкин А.А., Секвард-Бэйж Й. Модифицированная энергетическая модель трения и изнашивания применительно к трибосопряжениям ДВС//Вестник Брянского государственного технического университета. - 2016. №3. - С. 58 - 56.

Эксперимент

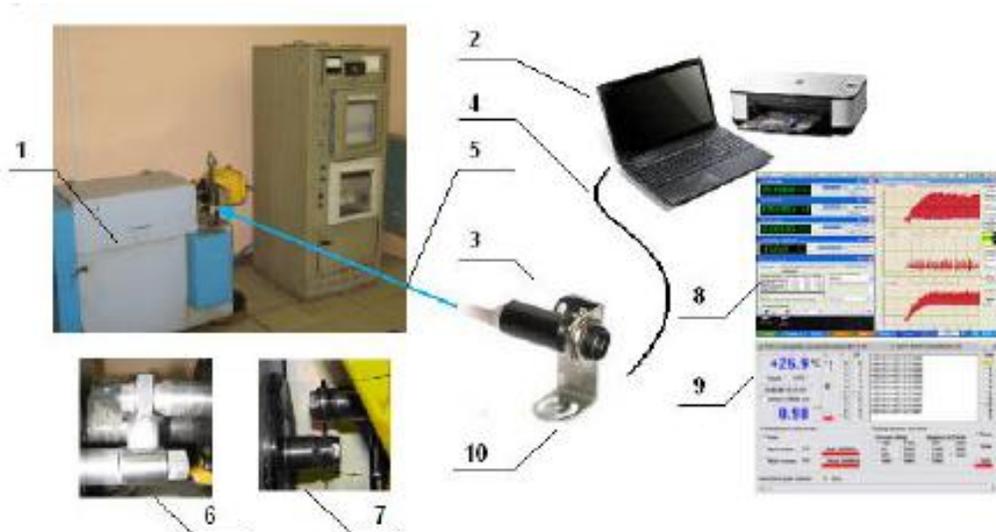


Рис. 16. Процесс проведения экспериментальных исследований

1. модернизированная машина трения 2070 СМТ-1
2. автоматизированная система регистрации и обработки опытных данных
3. инфракрасный стационарный термометр КЕЛЬВИН ИКС 4-20/5
4. кабель для соединения с компьютером
5. инфракрасное излучение
6. схема «смазочный блок – ролик»
7. схема «ролик – смазочный материал - ролик»
- 8 – 9. полученные опытные данные
10. крепление термометра

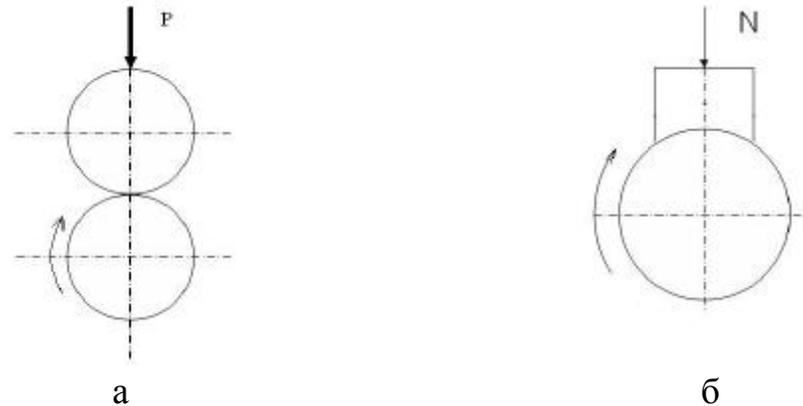


Рис. 17. Схема испытания: *а* - «диск-диск», *б* – «диск-частичный вкладыш»

Эксперимент



Рис. 18. Вид образцов

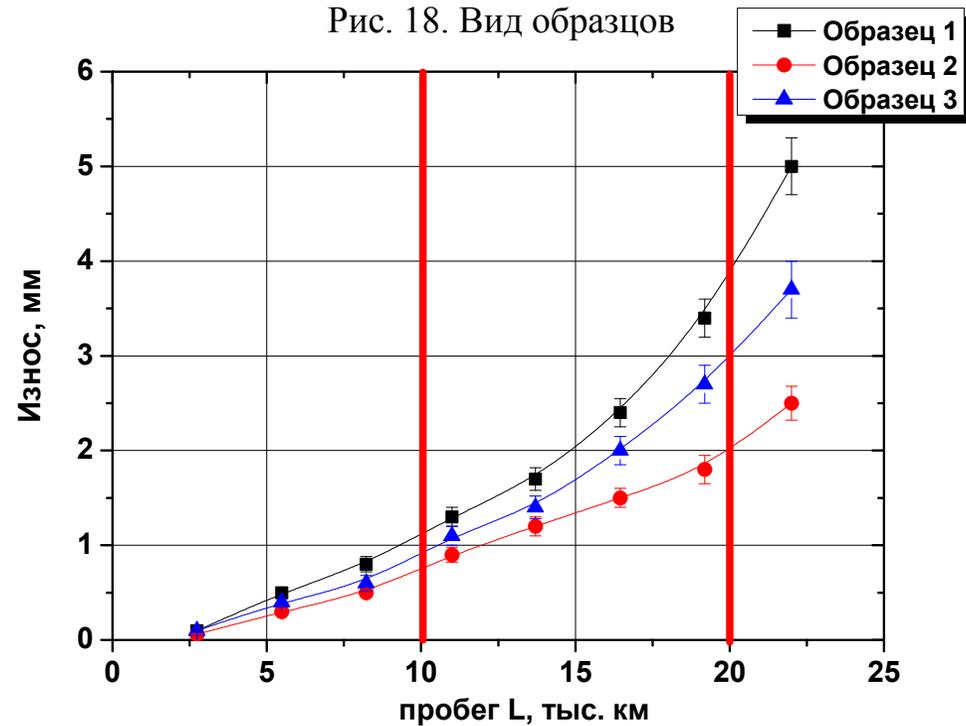


Рис. 19. Зависимость износа от пути трения при качении со скольжением для образцов с упрочнением и без него

Для расчета коэффициента износа в экспериментальной модели необходимо найти тангенс угла наклона каждой кривой, построенной по статистическим данным. Для примера возьмем кривую, построенную для образца 1

$$I_h = \frac{dh}{dS} \quad K_1^{\text{exp}} = \text{tg} \frac{0,8 \cdot 10^{-3}}{8,5 \cdot 10^6} = 9,4 \cdot 10^{-11}$$

Аналогично рассчитываем K_2^{exp} и K_3^{exp}

$$K_2^{\text{exp}} = 1,05 \cdot 10^{-10}$$

$$K_3^{\text{exp}} = 1,41 \cdot 10^{-10}$$

Сравнительный анализ результатов расчетов и полученных экспериментальных данных

K_1^{exp}	K_1^{teor}	K_2^{exp}	K_2^{teor}	K_3^{exp}	K_3^{teor}
$1,41 \cdot 10^{-10}$	$1,48 \cdot 10^{-10}$	$1,05 \cdot 10^{-10}$	$1,33 \cdot 10^{-10}$	$9,4 \cdot 10^{-11}$	$9,36 \cdot 10^{-11}$

Сравнение значений коэффициентов.
Для первого образца (не упрочненного)

$$\frac{1,48 - 1,41}{1,41} \cdot 100\% = 4,7\%$$

Для второго образца (упрочненного объемной закалкой)

$$\frac{1,33 - 1,05}{1,33} \cdot 100\% = 21\%$$

Для третьего образца (упрочненного поверхностным напылением)

$$\frac{9,4 - 9,36}{9,4} \cdot 100\% = 0,43\%$$

Заключение

В результате работы нами:

1. Построены 3D – модели железнодорожных колес согласно ГОСТ по методике, представленной в главе 3 и приложении.
2. В программном комплексе Abaqus получены результаты для расчета теоретического износа по модели Арчарда. Как и в проведенных другими исследователями работах нами выявлена зависимость площади пятна контакта от свойств материала. Показано что площадь пятна контакта уменьшается со 115 мм² для стали 3 до 90 мм² для стали 3 с упрочненным слоем.
3. Рассчитаны коэффициенты износа при различных типах упрочнения с использованием модели Арчарда и полученных данных. Отметим, что при 10 тыс. км. пробега колеса, интенсивность изнашивания у образца с поверхностным упрочнением на 10% ниже, чем у образца с объемным упрочнением и на 34% ниже, чем у базового образца. Кроме этого заметим, что с увеличением пробега интенсивность изнашивания увеличивается нелинейно для стандартного образца и образца с объемным упрочнением.
4. Проведены экспериментальные исследования на машине трения 2070 СМТ - 1. На их основе получены зависимости износа от величины пробега. Из результатов можно заключить, что при поверхностном упрочнении можно сместить проверку колес с 10 тыс. км на 20 тыс. км. Это в свою очередь приведет увеличению срока службы.

Благодарность

За предоставленное оборудование и консультации
доктору технических наук,
профессору кафедры «Технический сервис»,
руководителю НТО Центра «ДОКТОР - ДИЗЕЛЬ ПЛЮС»
ФГБОУ ВО «Ивановская ГСХА
именим академика Д.К. Беляева»
Гвоздеву Александру Анатольевичу.

