



**МАТЕРИАЛЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ
РЕГУЛИРОВАНИЕ В НОВЫХ УСЛОВИЯХ»**



АЛМАТЫ
28-29 октября 2014 г.

«В условиях всё возрастающей конкуренции на первое место выходит вопрос качества производимых товаров и предоставляемых услуг. Нам необходимо скорейшее и широкое внедрение международных технических стандартов. Железнодорожная отрасль должна соответствовать мировым стандартам безопасности, скорости доставки и обслуживания.»

Качество – вопрос выживания страны, укрепления независимости, безопасности нашей Родины».

*Из послания Главы государства
Н.А.Назарбаева народу Казахстана
«Новый Казахстан в новом мире»*

**«СТАНДАРТТАУ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ РЕТТЕУДІҢ
ЗАМАНАУИ ЖАҢА ЖҮЙЕСІ» АТТЫ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ
ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**PROCEEDING OF THE INTERNATIONAL SCIENCE AND
TECHNOLOGY CONFERENCE ON «STANDARDIZATION AND
TECHNICAL ADJUSTING
IN NEW TERMS»**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ «СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ
РЕГУЛИРОВАНИЕ В НОВЫХ УСЛОВИЯХ»**

*Под общей редакцией исполнительного директора
по научной работе
д.э.н., профессора Сатовой Р.К.*

**Алматы
2014**

УДК 006
ББК 30 ц
С 75

Редакционная коллегия:

С.К. Толебаев, Б.М. Куанышев, Р.К. Сатова, А.Д. Мустапаева,
Т.А. Канатбаев, Г.Д. Дабыскызы, Г.В. Бочкарева

К 75 Стандартизация и техническое регулирование в новых условиях;
(Материалы междунард. науч.- практ. конф., г. Алматы, 28-29 октября
2014 г.). – Алматы: КазАТК, 2014. - 280 с.

ISBN 978-601-7367-92-3

Материалы сборника содержат научные доклады по вопросам разработки межгосударственных стандартов, которые являются нормативной основой инновационного подвижного состава, развитию системы технического регулирования и технического аудита предприятий стран Евразийского экономического союза, поставляющих продукцию для нужд железнодорожного транспорта, а также внедрение требований оценочного аудита системы менеджмента бизнеса (IRIS) предприятий железнодорожной промышленности.

В рамках международной конференции рассмотрены инновационные модели управления на основе международных стандартов, изучен передовой опыт для развития бизнеса в современных условиях, а также состояние единой системы технического регулирования Таможенного союза, актуализация технических регламентов и оценка соответствия железнодорожной продукции в Едином экономическом пространстве.

УДК 006
ББК 30 ц
К 75

ISBN 978-601-7367-92-3

© КазАТК, 2014



СЛАДКОВСКИ АЛЕКСАНДР ВАЛЕНТИНОВИЧ,
заведующий кафедрой логистики и промышленного транспорта
Силезского технического университета, д.т.н., профессор
(г. Катовице, Польша)

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ
ТЯГОВЫХ КОЛЕС ЭЛЕКТРОВОЗА EU07 ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Сертификация железнодорожной продукции является основополагающим принципом, который лежит в основе безопасности железнодорожного транспорта. В Российской Федерации эта система регламентируется рядом документов, которые утверждены в 1996 году МПС РФ. Существует государственное учреждение «Регистр сертификации на федеральном железнодорожном транспорте», которое осуществляет координацию сертификации продукции железнодорожной отрасли [1].

Аналогичный подход существует в Польше. Существует ряд организаций, институтов и лабораторий, которые уполномочены производить сертификацию железнодорожной продукции. Курирует их деятельность, выдавая соответствующие разрешения, управление железнодорожного транспорта (Urząd Transportu Kolejowego), который также выдает сертификаты безопасности на железнодорожную продукцию, что является основанием для ее допущения к эксплуатации [2].

Очевидным фактом есть то, что железнодорожные колеса и рельсы являются одним из наиболее критичных элементов, которые имеют влияние на безопасность железнодорожного транспорта. Усталостное разрушение колес во время движения подвижного состава неоднократно приводило к трагическим последствиям. Например, в Эшеде (район Целле, Нижняя Саксония) вследствие усталостного разрушения

банджага колеса электропоезда, идущего со скоростью около 200 км/час, произошла катастрофа, которая унесла жизни 101 человека [3]. Усталостные разрушения колес наблюдаются и в настоящее время [4] для самого современного подвижного состава. Таким образом, проведение сертификационных мероприятий для колес подвижного состава должно выполняться на основе всесторонних исследований: лабораторных, эксплуатационных, технологических (у производителя и у эксплуатационников). Все данные исследования должны быть сделаны после того, как будет рассчитана конструкция колеса на усталостную прочность и колесо будет признано безопасным с теоретической точки зрения.

Одним из наиболее распространенных в Польше электровозов является локомотив EU07. Хотя EU обозначает, что это универсальный электровоз, в настоящее время он используется главным образом для обслуживания пассажирских поездов. Несмотря на то, что его производство началось в 1963 году и окончилось в 1992 (выпущено 240 электровозов), они используются и в настоящее время, после восстановительных ремонтов и существенных реконструкций. При столь большом сроке эксплуатации со всей очевидностью возникают проблемы, связанные с усталостной прочностью элементов конструкции локомотивов, и прежде всего, его колес.

Трещины колес тяговых колесных пар локомотивов EU07 являются важной проблемой с технической и экономической точек зрения, а также безопасности перевозки пассажиров и товаров. Указанные трещины (рис. 1b) характеризуются высокой повторяемостью мест их появления. Причины появления трещин в колесах данного типа не полностью идентифицированы. Ранее проводились исследования с использованием метода конечных элементов (МКЭ), которые показали, что в материале колес не происходит превышения допустимого уровня напряжений [6]. При этом однако можно утверждать, что во время качения колес по рельсам, колеса находятся под влиянием циклических (синусоидальных несимметричных) знакопеременных напряжений. Нагрузки такого характера могут служить причиной усталостного разрушения материала колес.

Прочностные расчеты на усталость для тягового колеса локомотива EU07 при помощи МКЭ были проведены с использованием программного обеспечения Ansys Workbench (рисунок 1a).

Одной из наиболее важных усталостных характеристик материала является кривая Вёлера. Она была определена во время прочностных испытаний цилиндрических образцов и задавалась в вычислительной программе в группе прочих свойств исследуемого материала виртуальной модели локомотивного колеса. Оригинальная кривая Вёлера (рисунок 2a) была модифицирована с целью определения ее теоретического распространения за границы экспериментально полученных данных, учитывающих количество циклов и амплитуды напряжений во время экспериментальных циклических нагружений (рисунок 2b), т.е. была проведена экстраполяция.

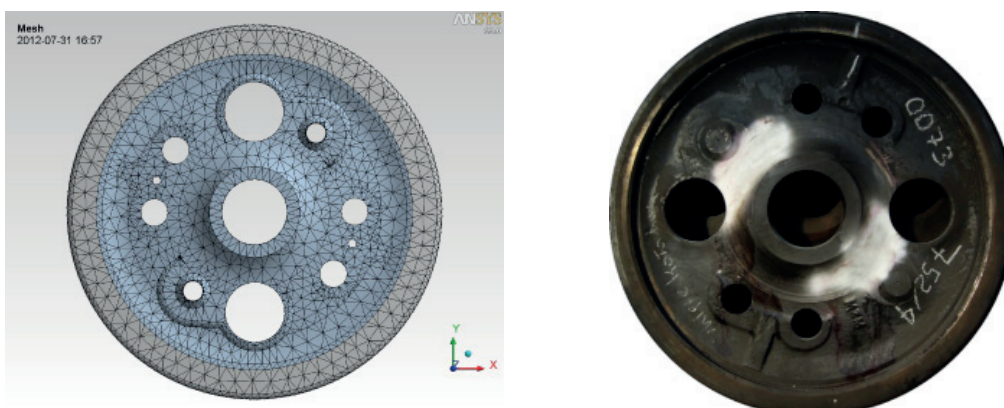


Рисунок 1 - а) Конечно-элементная сетка тягового колеса локомотива EU07, выполненная в программе Ansys Workbench;
б) Места появления трещин на реальном объекте (обозначены эллипсами)

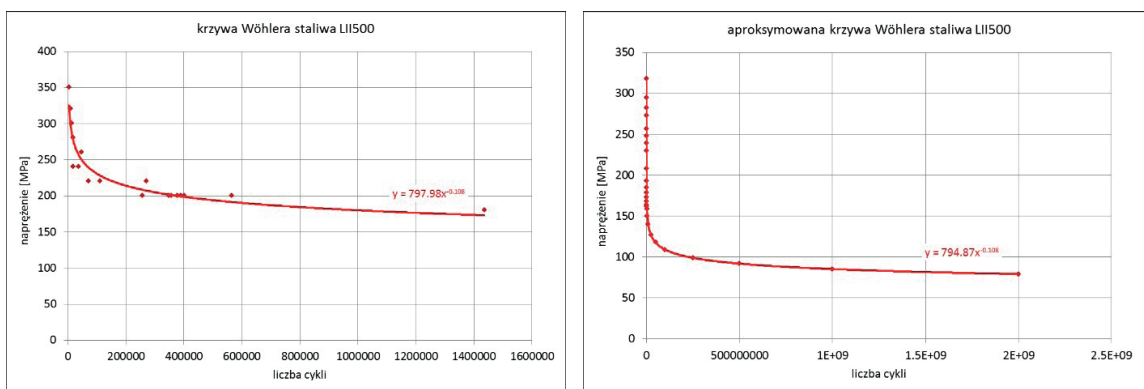


Рисунок 2 - а) Кривая Вёлера литейной стали LI500, определенная во время усталостных испытаний;
б) Модифицированная (экстраполированная) кривая Вёлера литейной стали LI500, определенная с целью задания в программе Ansys Workbench

Модификация кривой Вёлера состояла в ее аппроксимации экспоненциальной функцией, а далее приближении этой экстраполяции к числу циклов, которым (оценочно) подвергаются колеса локомотива во время двадцатилетней эксплуатации транспортного средства. Указанное количество циклов было определено из расчета, что локомотив проезжает в среднем в сутки 1200 км. Таким образом, количество циклов нагружения было оценено на уровне $2e9$. Остальные свойства материала (литейной стали LI500) были приняты следующие: модуль Юнга $E=2.11e11$ Па, коэффициент Пуассона $\nu=0.3$.

Нагружение железнодорожного колеса состояло в приложении сосредоточенных сил, которые действуют в паре колесо – рельс (радиальная и боковая сила – моделировалось таким образом движение локомотива по прямому участку пути или в кривой), воздействие со стороны тяговой передачи, а также влияния запрессовки колеса на оси [7, 8]. При этом не учитывались превышения нагрузки, связанные с динамическим взаимодействием пути и подвижного состава. Очевидно, что проведенные расчеты с использованием МКЭ имели характер оценочный. Каждый вид нагрузки определялся как особый случай нагружения. При этом нагружение силами, действующими в контакте колесо – рельс, прикладывалось к рабочей поверхности колеса каждые 150, моделируя при этом качение колеса по рельсу. Воздействие сосредоточенных сил в паре колесо – рельс было принято изменяющимся при отнулевом цикле.

Воздействие тяговой передачи моделировалось парой сил с моментом, равным моменту сопротивления трению качения в критический момент утраты сцепления между колесом и рельсом. Величина этого момента была принята как максимальный тяговый момент, который может создать привод локомотива. Каждая из указанных выше сил, которые создают пару, была приложена на поверхностях отверстий, в которые вставлены пальцы, передающие тяговое усилие на колесо. Указанные силы были распределены на поверхностях отверстий при помощи параболического закона. Во время проведения расчетов использовался принцип суперпозиции результатов для различных видов нагружения. В усталостных расчетах учитывалось качество обработки (литье) на усталостную прочность материала, что можно было сделать в программе Ansys Workbench, задавая соответствующую величину коэффициента fatigue strenght factor.

Прочностные расчеты подтвердили, что ни в одном месте модели тягового колеса локомотива EU07 величина эквивалентных напряжений по критерию Мизеса не превышает величины допускаемых напряжения ($\sigma_{\text{доп}}=200$ МПа для литейной стали ЛП500).

Очередным примером прочностных расчетов являются приведенные ниже распределения напряжений на внутренней поверхности модели колесного центра. Распределения радиальных напряжений показывают, что в местах появления трещин на реальных объектах исследования появляются напряжения с переменными знаками (по очереди на растяжение и сжатие) во время качения колеса по рельсу. Переменность указанных напряжений может быть поводом возникновения усталостных дефектов (трещин) реальных объектов (рисунок 3).

Примером результатов усталостных расчетов могут быть распределения параметра life. Указанный параметр life в программе Ansys Workbench обозначает количество циклов до разрушения для данного вида нагружения. Параметр life может быть выражен в единицах времени или количества циклов нагружения. Показанные на

рис. 4 распределения параметра life представляют количество циклов. Можно заметить, что наименьшее количество циклов (от $1.8e5$ до $2.06e5$) имеет место в случаях нагружения, обозначенных согласно углу оборота колеса $00o$, $15o$, $30o$, $165o$, $180o$, $195o$, $210o$, $345o$. В каждом из приведенных случаев нагружения места на расчетной модели с наименьшим количеством циклов до разрушения соответствуют местам на реальном объекте, в которых появляются трещины (рисунок 1b). Указанные места на расчетной модели, которые имеют наименьшее количество циклов до разрушения, обозначены на рисунках окружностями.

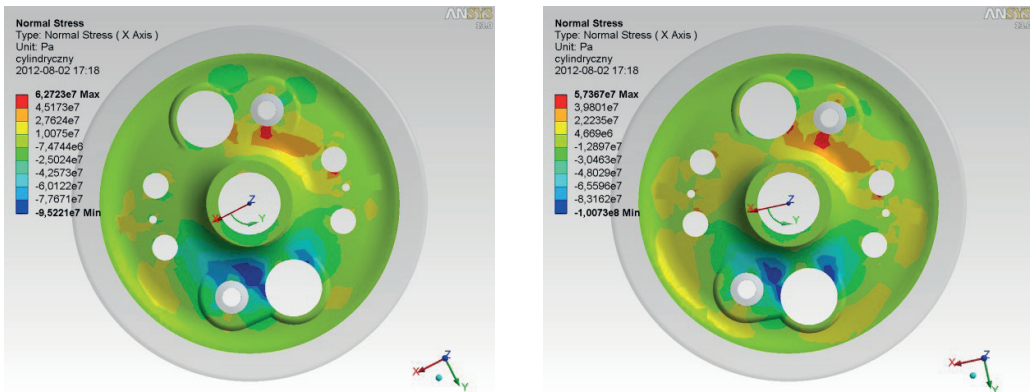
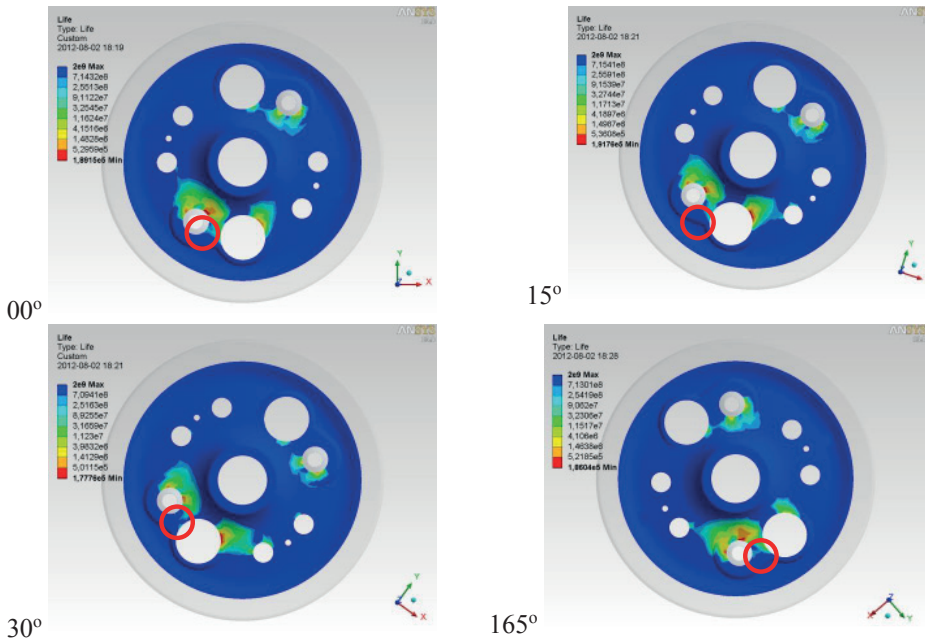


Рисунок 3 - Примеры распределения радиальных напряжений в колесном центре для избранных положений (оборотов) колеса по отношению к рельсу



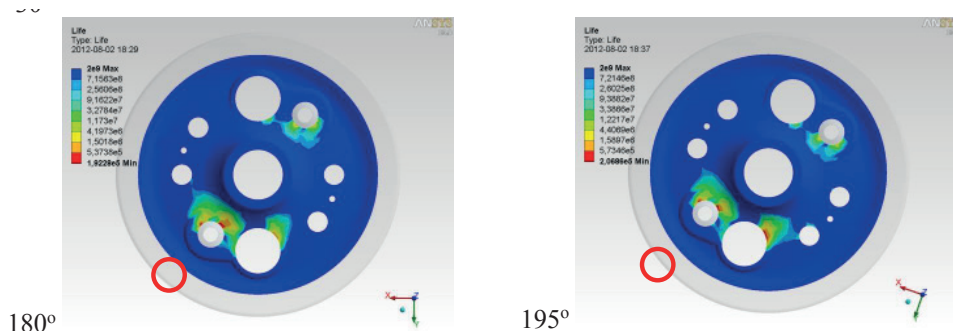


Рисунок 4 - Распределения параметра life (количества циклов до разрушения) на внутренней поверхности колесного центра модели колеса в зависимости от угла оборота относительно рельса для избранных положений колеса относительно рельса

Выводы: Прочностные расчеты, проведенные с использованием МКЭ на базе программы Ansys Workbench, подтвердили, что ни в одном месте тягового колеса локомотива EU07 величина эквивалентных напряжений согласно критерия Мизеса не превосходит величины допускаемых напряжений ($\sigma_{доп}=200$ МПа для литейной стали ЛП500). Эквивалентные напряжения с максимальной величиной (около 145 МПа), тем не менее, появляются в зоне, в которой на реальном объекте образуются трещины (в избранных случаях характеристического положения колеса при его обороте относительно рельса).

Анализ радиальных напряжений в колесном центре показывает, что в местах появления трещин на реальном объекте в расчетной модели появляются напряжения переменных знаков (на растяжение и сжатие) во время качения колеса по рельсу. Переменность напряжений может служить поводом возникновения усталостных дефектов (трещинообразования) для реальных объектов.

Анализ распределения параметра life позволяет сделать вывод, что наименьшим количеством циклов (около $1.8e5 - 2.06e5$) до разрушения характеризуются места расчетной модели, которые соответствуют зонам на реальном объекте, в которых наиболее часто наблюдаются трещины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матюшин В.А. Регистр сертификации на федеральном железнодорожном транспорте. Евразия. Вести. http://www.eav.ru/sertif_registr.htm
2. Bezpieczeństwo i Regulacja Rynku Kolejowego. <http://www.utk.gov.pl/pl/bezpieczenstwo-systemu-1/zarzadzanie-bezpieczen/certyfikat-bezpieczens/207,Certyfikat-Bezpieczenstwa.html>

-
3. Eschede train disaster. http://en.wikipedia.org/wiki/Eschede_train_disaster
 4. Бакунова А.А., Космацкий Я.И., Храмов Е.В., Валов М.А., Брексон В.В. Исследование причин преждевременного разрушения локомотивных бандажей и разработка мероприятий по повышению эксплуатационного ресурса бандажей. http://edu.tltsu.ru/sites/sites_content/site3456/html/media92638/003%20Bakunova.pdf
 5. Pafawag 4E/HCP 303E. http://pl.wikipedia.org/wiki/Pafawag_4E/HCP_303E
 6. Bizoń K. Symulacyjna ocean obciążeń zmęczeniowych w tarczy koła napędnego zestawu kołowego. I Kongres Mechaniki Polskiej, 28-31 sierpnia 2007. Warszawa, CD.
 7. Sitarz M., Śladkowski A., Bizoń K., Chruzik K. Designing of railway wheels. Part 1: finite element method. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, part f. Journal of Rail and Rapid Transit. 2005, vol. 219, p. 91-110.
 8. Sitarz M., Śladkowski A., Bizoń K., Chruzik K. Designing of railway wheels. Part 2: comparison of numerical analysis and experimental research. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, part f. Journal of Rail and Rapid Transit. 2005, vol. 219, p. 111-119.