

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Бехера Сергея Алексеевича  
на диссертационную работу Тапкова Кирилла Александровича  
«Разработка методики оценки остаточных напряжений в дифференцированно  
термоупрочненных рельсах по данным акустического тензометрирования»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.2.8 – «Методы и приборы контроля и диагностики материалов,  
изделий, веществ и природной среды (технические науки)»

### **1. Актуальность темы**

Рельсы являются одними из наиболее нагруженных элементов верхнего строения пути и воспринимают как статические, так и динамические силы от подвижного состава. Безотказность рельсов непосредственно влияет на надежность пути и безопасность железнодорожных перевозок. Наиболее опасными дефектами являются усталостные трещины, неконтролируемое развитие которых приводит к разрушению рельса в процессе эксплуатации сходу, аварии, крушению поезда.

Современные технологии, массово применяемые для изготовления рельсов, подразумевают появление в материале остаточных напряжений первого рода, скомпенсированных по высоте рельса. Нормативными документами, например ГОСТ Р 51685-2013 установлена необходимость выборочного разрушающего контроля продольных остаточных напряжений шейки и средней части подошвы. Повышенный уровень растягивающих напряжений в элементах рельса значительно повышает вероятность образования и скорость развития усталостных дефектов и, следовательно, создает угрозу безопасности движения.

Актуальность диссертационной работы определяется направленностью на создание методики сплошного неразрушающего контроля рельсов после изготовления с использованием метода акустоупругости. Это позволит своевременно обнаружить и предотвратить установку в путь рельсов с недопустимым уровнем остаточных напряжений, снизить риски их усталостного разрушения.

### **2. Краткий обзор диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и четырех приложений. Список цитируемой литературы включает 147 источников. В приложениях приведены: акт внедрения результатов диссертационных исследований в учебный процесс, приказы о проведении работ на промышленных предприятиях, свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. Общий объем диссертации без списка литературы и приложений составляет 110 страниц. Оформление диссертации соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

В первой главе проанализированы особенности конструкции, условий эксплуатации, технологии производства рельсов и ее влияние на процессы формирования остаточных напряжений первого рода, выполнен обзор существующих методов испытаний и контроля, рассмотрены области применения и ограничения, дан анализ современных направлений развития метода акустоупругости, в том числе с использованием электромагнитно-акустических преобразователей. По результатам

научного обзора сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена методам и способам оценки и контроля механических напряжений. Приведена теоретическая основа расчетных методов конечных элементов, описано оборудование и схема контроля напряжений методом акустоупругости, проанализированы используемые в диссертации методы обработки экспериментальных данных.

В третьей главе разработана трехэлементная модель рельса при прозвучивании поперечными волнами с двумя взаимно перпендикулярными поляризациями для оценки уровня напряжений в каждом из элементов. Приведены результаты экспериментальных исследований напряжений в элементах рельса и полученные корреляционные связи между ними. Представлены результаты моделирования в программной среде COMSOL Multiphysics и экспериментальные данные о влиянии напряженного состояния рельса на расхождение паза в шейка при разрушающем контроле.

В четвертой главе приведена методика определения остаточных механических напряжений методом акустоупругости с использованием электромагнитно-акустических преобразователей, учитывающая результаты разрушающих испытаний по ГОСТ Р 51685-2013.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты исследования.

### **3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Научные положения и полученные в работе выводы и рекомендации в достаточной мере обоснованы аналитически с использованием теорий упругости, акустоупругости и современных методов статистического и регрессионного анализа, расчетами с использованием методов конечных элементов в широком спектре граничных условий, экспериментально в лабораторных условиях и на производстве. Построенные в работе модели и установленные закономерности подтверждаются результатами экспериментов с реальными объектами контроля разных производителей из различных плавок рельсов.

### **4. Научная новизна и достоверность полученных результатов**

Научная новизна работы заключается в теоретически и экспериментально обоснованной методике контроля остаточных напряжений первого рода в элементах рельса (головка, шейка и подошва), установленных закономерностях, связывающих значения механических напряжений в элементах рельса и позволяющих обосновать применение, практически реализовать сплошной контроль напряжений с использованием двух поперечных волн со взаимно перпендикулярными поляризациями.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием оборудования, утвержденного типа, прошедшего поверку, лицензированного программного обеспечения для конечно-элементных расчетов. Обработка результатов проводилась с использованием корреляционного, регрессионного и статистического анализа. Погрешности результатов измерений проанализированы и оценены, а полученные выводы не противоречат опубликованным результатам работ других авторов.

### **5. Практическая и теоретическая значимость**

Практическая значимость диссертации заключается в разработанной методике контроля напряжений, которая может быть использована для сплошного контроля

остаточных напряжений рельсов после изготовления. Это позволит повысить надежность рельсов в эксплуатации за счет уменьшения вероятности их усталостного разрушения.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что ее результаты являются основой для создания способов контроля локальных напряжений на основе известных закономерностей распределения напряжений в сечении объекта и результатов измерений средневзвешенных значений величин.

#### **6. Публикации и апробация**

Основные результаты диссертационного исследования отражены в 16 публикациях, в том числе 6 статей в изданиях, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата технических наук, одном свидетельстве о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Результаты диссертации докладывались на 9 всероссийских и международных конференциях.

#### **7. Замечания по работе**

1) В работе не анализируется, какое влияние на достоверность контроля напряжений оказывают микроскопические остаточные напряжения второго и третьего рода.

2) На стр. 49 утверждается, что расхождения паза вызвано остаточными напряжениями, возникшими вследствие «неравномерного охлаждения». Как на формирование остаточных напряжений влияют разные степени деформирования элементов рельса при прокатке?

3) На странице 71 предположение о том, что распиловка холодными пилами не влияет на напряженное состояние элементов рельса сомнительно, так как упругие продольные напряжения в элементах рельса возможны только при наличии градиента этих напряжений по высоте рельса, например, шейка сжата потому, что подошва и головка растянута.

4) Из текста диссертации непонятно каким методом определены значения напряжений, приведенные в таблице 3.1.

5) В Методике в подразделе 4.3 дается формула для средневзвешенных напряжений при отсутствии акустической анизотропии. Как рассчитывать эту величину для анизотропного рельса?

6) В тексте диссертации имеется незначительное количество опечаток, грамматических и стилистических ошибок, например на стр. 20 ошибочно указан диапазон значений осевых нагрузок «25-57» тс вместо (25 – 27) тс; на странице 67 опечатка «возможнот»; на стр. 36 не согласовано предложение «напряжению и объекте контроля»; на стр. 91, 93, 102,104, 108, 109 коэффициент линейной регрессии или коэффициент пропорциональности ошибочно назван коэффициентом корреляции; в выражении (2.11) опечатка: в первом столбце третьей строки должна быть производная по  $y$ ; на стр. 71 дана ссылка на рис. 3.1 вместо рис. 3.2; выражение (2.25) не согласовано: второе равенство ничем не подтверждено; на стр. 73 видимо допущена опечатка «так, средневзвешенные напряжения по головке и шейке имеют сжимающий характер, по шейке – растягивающий»

Несмотря на допущенные опечатки, ошибки и вопросы без ответов, диссертация

в целом написана достаточно грамотным техническим языком.

Отмеченные замечания и сформулированные вопросы не снижают научной и практической значимости работы и не влияют на достоверность полученных результатов.

### **8. Общая оценка и заключение по рассмотренной работе**

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором на достаточно высоком научном уровне.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Тапков Кирилл Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 – «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки)».

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело и их дальнейшую обработку.

Дата составления отзыва «30» августа 2022 года.

Официальный оппонент

доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры «Электротехника,  
диагностика и сертификация» СГУПС

Бахер  
Сергей  
Алексеевич

Докторская диссертация по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Место работы: кафедра «Электротехника, диагностика и сертификация» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС).

Адрес: 630049, РФ, Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191.

Телефон: +7 (383) 328-04-00, электронная почта: public@stu.ru, сайт: <http://www.stu.ru/>.

подпись С.А. Бахера заверяю

Ученый секретарь



Гербер  
Александр  
Робертович