

УДК 622.25:004.9

А. А. МАРКАВЦОВ^{1,2}, О. В. ХОЛОДИЛОВ², М. Г. КУЗНЕЦОВА²

¹Конструкторско-технический центр Белорусской железной дороги, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В работе рассмотрены проблемы диагностики состояния буксовых узлов, обосновано применение метода акустической эмиссии для их неразрушающего контроля. В подпакете Static Structural инженерного программного комплекса ANSYS выполнено компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния подшипникового узла под действием соответствующей реальной эксплуатационной нагрузки. Определены локальные области повышенных напряжений для последующей установки в них датчиков акустической эмиссии.

Ключевые слова: подвижной состав, буксовый узел, неразрушающий контроль, напряженно-деформированное состояние, акустико-эмиссионная диагностика.

Тележки вагонов, надежность которых напрямую зависит от состояния узлов трения, являются наиболее часто повреждаемыми конструктивными элементами подвижного состава. Их диагностика и эксплуатационный контроль необходимы для обеспечения безаварийной работы ходовой части вагона.

Как показывает опыт, такие традиционные параметры, характеризующие работу буксовых подшипников, как коэффициент трения, интенсивность изнашивания, температура в зоне контакта, не всегда обеспечивают надежную оценку их технического состояния. При расчете структурной целостности, отказов и усталости для прогнозирования срока службы, составления графика технического обслуживания и определения необходимости замены или доработки деталей требуется анализ зон концентрации напряжений и повышенных значений разности главных механических напряжений в конструкции. В этой связи актуальны методы неразрушающего контроля (далее – НК), позволяющие обнаруживать дефекты и прогнозировать динамику их развития.

Одним из наиболее часто применяемых на практике видов НК является тепловой контроль, однако этот метод дает интегральную оценку состояния и не позволяет оценить степень опасности трещиноподобных дефектов, которые впоследствии могут привести к разрушению буксового узла. Поэтому целесообразно использовать акустико-эмиссионный (далее – АЭ) вид безразборного контроля, позволяющий установить наличие дефектов [1].

Метод АЭ в настоящее время широко используется для исследования процессов разрушения и для НК материалов подшипников буксового узла,

поскольку позволяет контролировать энергетику этих процессов в реальном масштабе времени без какого-либо дополнительного воздействия на сам процесс. Результаты таких исследований находят свое применение в понимании микро- и макромеханизмов разрушения и в задачах диагностирования прочностного состояния подшипников буксового узла [2, 3].

Как известно, препятствиями для прохождения достоверного акустического сигнала от дефекта являются несовпадение скорости распространения поверхностных акустических волн во всех направлениях, наличие на пути сигнала полостей, отверстий, сварных швов и пр. Удаленность расположения соответствующего датчика оказывает существенное влияние на точность информации об источнике акустической эмиссии. Наибольшей эффективности такая диагностика достигает при расположении датчиков непосредственно в зонах концентрации напряжений и областей повышенных значений разности главных механических напряжений. Одним из способов получения соответствующей информации является проведение предварительного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) буксового узла на основе использования численных методов анализа. В частности, возможность прогнозирования НДС конструктивного элемента, его статического отклика на различные внешние воздействия реализуется путем выполнения конечно-элементного моделирования [4–7].

Цель представленной работы – совершенствование технологии АЭ диагностики подшипниковых узлов ходовой части вагона, связанное с уточнением мест размещения датчиков, осуществляемом на основе предварительного анализа напряженно-деформированного состояния конструкции.

Многофункциональный инженерный программный комплекс ANSYS предоставляет широкие возможности для анализа статического НДС и прочности конструкций, изготовленных из различных материалов и имеющих геометрическую форму любой сложности [8].

Анализ НДС подшипника и корпуса буксового узла тележки грузового вагона выполнялся с использованием подпакета Static Structural программы ANSYS Workbench. Создание и работа с компьютерными моделями в этом подпакете состоит из следующих основных этапов.

1 Подготовка геометрической модели. Геометрическая модель буксового узла создана средствами CAD-системы Autodesk Inventor Professional 2019 и импортирована в Static Structural (рисунок 1).

2 Подготовка расчетной модели: а) задание свойств материалов конструктивных элементов буксового узла с помощью модуля Engineering Data; б) задание граничных условий и параметров внешних воздействий; в) формирование сетки конечных элементов методами Meshing с учетом сложной геометрии конструкции; г) задание списка выходных параметров (напряжения, деформации и т. п.) в подменю Solution.

3 Проведение компьютерного (вычислительного) эксперимента.

4 Обработка и интерпретация полученных результатов. Средства ANSYS Workbench позволяют получить результаты расчетов в наглядной графической форме в виде диаграмм, графиков и анимации.

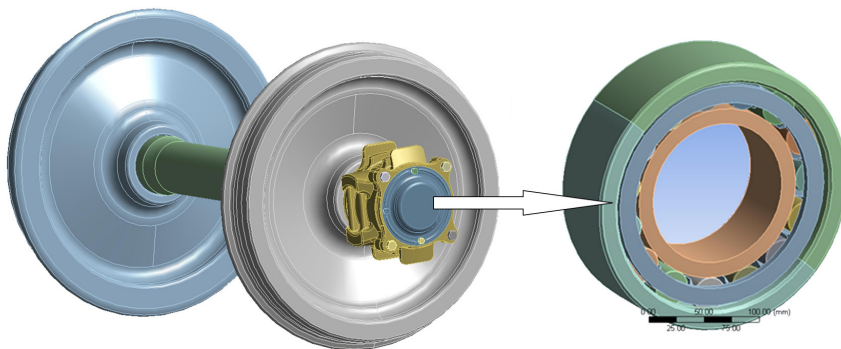


Рисунок 1 – Геометрическая модель буксового узла

Модель подшипника состоит из внутреннего и наружного стальных колец ШХ15ГС (параметры материала: модуль Юнга – 120 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,3; предел текучести условный $\sigma_{0,2} = 370...410$ МПа; предел прочности на растяжение $\sigma_b = 590...730$ МПа; относительное удлинение после разрыва $\delta = 15...25$ %; относительное сужение $\psi = 35...55$ %; ударная вязкость КСУ = 44,0 Дж/см²). Между кольцами помещаются ролики из стали ШХ15ГС, которые с помощью сепаратора (клетки) удерживают их на одинаковом расстоянии друг от друга. Полиамидные сепараторы буксового роликового цилиндрического подшипника изготавливают из полиамида РА66 или РА6, упрочненного стекловолокном (предел текучести условный $\sigma_{0,2} = 90$ МПа; предел прочности на растяжение $\sigma_b = 110...230$ МПа; относительное удлинение после разрыва $\delta = 40$ %; относительное сужение $\psi = 25$ %; ударная вязкость КСУ = 4,5 Дж/см²).

Рассматривался случай равномерно распределенной статической нагрузки на конструкцию. Она составляет 265 кН и приложена на поверхность верхней части внешнего кольца, по которой передается нагрузка на ролики подшипника. Для конечно-элементного анализа были использованы тетраэдральные и призматические элементы в зависимости от формы исследуемой зоны. Для оценки НДС использован критерий Мизеса [9, с. 253].

Полученные результаты показывают, что максимальные напряжения во внешнем кольце возникают в момент, когда ролик подшипника находится в самом верхнем положении (рисунок 2). Следовательно, именно эта зона является наиболее подходящей для установки датчика акустической эмиссии. Максимальные напряжения не превышают предела текучести материала и

достигают 174,92 МПа, максимальное значение деформации диаметра в направлении челюстей (направляющих поверхностей) корпуса составляет 0,0648 мм, что не превышает допускового значения 0,2 мм.

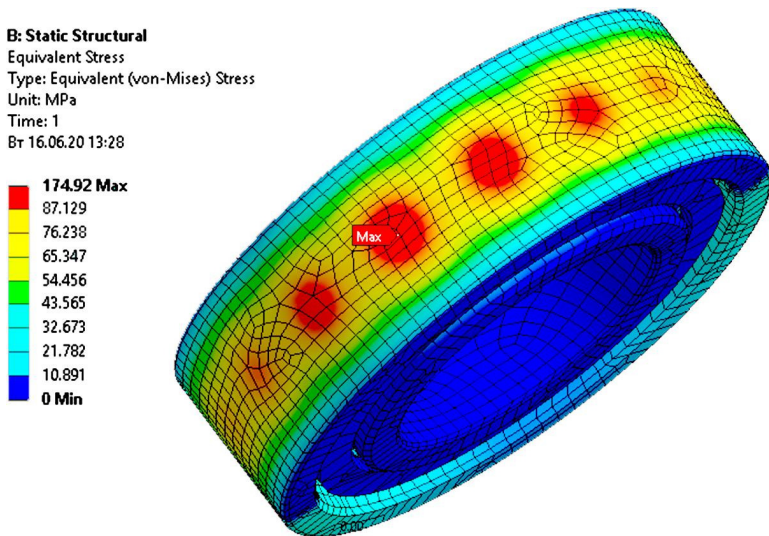


Рисунок 2 – Распределение эквивалентных по Мизесу напряжений (МПа) в подшипнике буксового узла

Напряжения в буксовом узле распределены неравномерно, имеется несколько областей повышенной концентрации напряжений (рисунок 3). Максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу составляют 106,27 МПа.

Для установки датчиков АЭ необходимо выполнить технологические отверстия, расположение которых оказывает существенное влияние на прочность корпуса буксового узла. Максимальные нормальные напряжения в корпусе буксового узла с отверстиями под датчики акустической эмиссии в ребрах жесткости достигают 201,79 МПа, напряжения по Мизесу – 200,78 МПа. При размещении отверстий под датчики рядом с ребрами жесткости – 108,65 и 152,74 МПа соответственно. То есть эквивалентные напряжения увеличились соответственно на 89 (рисунок 4, *a*) и 43 % (рисунок 4, *б*) по сравнению с расчетами для корпуса без отверстий. При этом максимальные деформации составляют 0,0653 и 0,0648 мм соответственно, т. е. при выполнении отверстий в ребрах жесткости максимальные значения деформаций увеличились на 0,77 %. Следовательно, для установки акустико-эмиссионных датчиков целесообразно использовать второй вариант (рисунок 4, *б*), так как расположение отверстий на ребрах жесткости ведет к существенному снижению прочностных характеристик корпуса буксового узла.

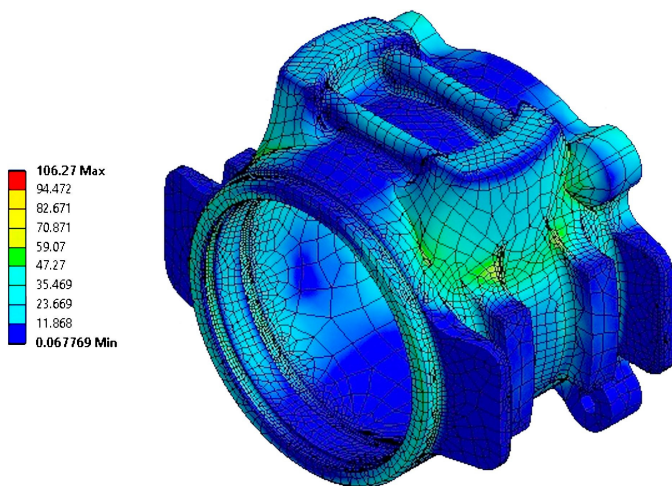


Рисунок 3 – Эквивалентные по Мизесу напряжения, МПа, в корпусе букового узла

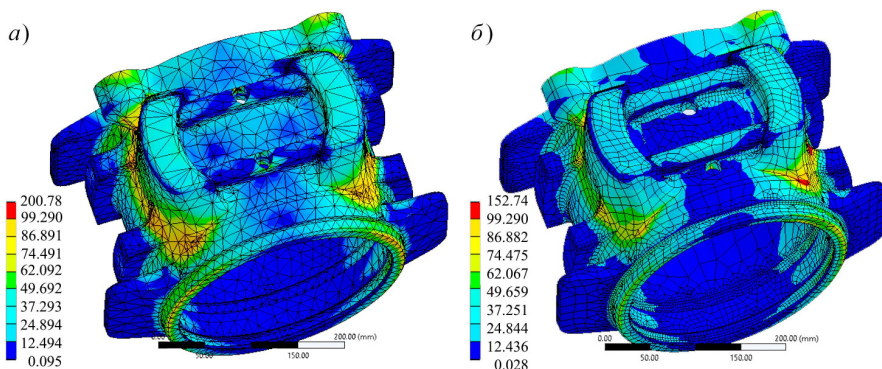


Рисунок 4 – Эквивалентные по Мизесу напряжения, МПа, в корпусе букового узла при расположении технологических отверстий на ребрах жесткости (а) и рядом с ними (б)

Таким образом, в результате выполнения исследования предложена схема размещения датчиков АЭ на корпусе букового узла с учетом особенностей НДС, определенного путем использования конечно-элементного анализа. Предложенная схема размещения датчиков АЭ дает возможность интегрировать систему в существующие комплексы телематического оборудования на железной дороге.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве перспективного метода неразрушающего безразборного контроля подшипниковых узлов подвижного состава не только при статическом, но и при динамическом нагружении конструктивных элементов. Использование результатов

данных исследований на практике позволит повысить точность и достоверность проведения АЭ-контроля за счет оптимизации расположения преобразователя акустической эмиссии на объекте контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бехер, С. А. Основы неразрушающего контроля методом акустической эмиссии : учеб. пособие / С. А. Бехер, А. Л. Бобров, Л. Н. Степанова. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2013. – 145 с.

2 Оглезнева, Л. А. Акустико-эмиссионный контроль, его особенности и обеспеченность / Л. А. Оглезнева, В. К. Кулешов // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312, № 2 : Математика и механика. Физика. Приложение: Неразрушающий контроль и диагностика. – С. 205–210.

3 Pradhan, S. A recursive wheel wear and vehicle dynamic performance evolution computational model for rail vehicles with tread brakes / S. Pradhan, A. K. Samantaray // Vehicles. – 2019. – Vol. 1, No 1. – P. 88–115.

4 Сыч, Т. В. Совершенствование технологии акустико-эмиссионного контроля на основе конечно-элементного анализа акустического тракта : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13 / Т. В. Сыч ; НИ ТПУ. – Новосибирск, 2016. – 149 с.

5 Беляев, Г. Я. Численное исследование напряженно-деформируемого состояния деталей подшипников качения / Г. Я. Беляев, С. Ю. Котов, А. В. Шмелев // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2017. – № 1. – С. 27–33.

6 Da Costa, P. J. F. B. Fatigue Reliability Analysis of a Rail Vehicle Axle : Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica / P. J. F. B. Da Costa. – Porto : Universidade do Porto, 2020. – 214 p.

7 Nickerson, B. M. Development of an integrated numerical method for the fatigue analysis of railway bogies : Thesis ... for the degree of Master of Engineering (Mechanical). – Stellenbosch : Stellenbosch University, 2017. – 88 p.

8 Lee, H.-H. Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 2020 / H.-H. Lee. – Mission, Kansas : SDC Publications, 2020. – 618 p.

9 Мейз, Дж. Теория и задачи механики сплошных сред : учеб. / Дж. Мейз. – М. : Мир, 1974. – 319 с.

A. A. MARKAUTSOV^{1,2}, A. U. HALADZILAU², M. G. KUZNIATSOVA²

¹Construction-technological centre of Belarusian Railway, Minsk, Belarus

²Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

IMPROVEMENT OF AN ACOUSTIC-EMISSION DIAGNOSTICS TECHNOLOGY FOR THE ROLLING STOCK BEARING UNITS

In the paper the problems of the axle boxes state diagnosing are considered, the acoustic emission method application for their non-destructive testing is reasoned. There was performed a computer simulation of the bearing axle stress-strain state under the action of the load corresponding to real operating conditions using the Static Structural subpackage of the ANSYS engineering software complex. Local areas of increased stress are determined for the subsequent installation of acoustic emission sensors in them.

Keywords: rolling stock, axle box unit, non-destructive testing, stress-strain state, acoustic emission diagnostics.

Получено 22.09.2020