

Сложнее дело обстоит с горизонтом прогнозирования. Чтобы в оптимальном режиме функционировала вся инфраструктура, обеспечивающая восстановительные (по работоспособности) процессы для вагонов, необходимо учитывать продолжительность разработки проекта депо для выполнения ДР, время от начала строительства до сдачи в эксплуатацию и период стабильной его работы. Ранее автором было доказано, что этот период упреждения прогноза должен быть не менее 10 лет. Но чем дальше от исходного находится год упреждения

прогноза, тем с большей неопределенностью получается прогноз. Поэтому предлагается ежегодно проводить необходимые расчёты и корректировать прогноз.

Внедрение предложенной методики в практику работы Белорусской железной дороги позволит отыскать наиболее экономически обоснованные пути распределения выделяемых средств на развитие вагонного хозяйства, обеспечивающего безопасное функционирование перевозочного процесса.

Получено 12.12.2003

**V. I. Senko.** Grounds for need of freight carriages repair.

The situation arose on the Belarusian Railway with freight carriages fleet is considered. There given possible variants of rolling stock renovation. Recommended dependences for determination of rolling stock quota for annual repair are given. Concrete practical results are also given.

---

**Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2003. № 2(7)**

---

УДК 621.4.028.122.001.24

*Б. Г. КЕГЛИН, доктор технических наук; А. В. ЯКОВЛЕВ, кандидат технических наук; С. В. МАКЕЕВ; аспирант; Брянский государственный технический университет, г. Брянск*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ НАДРЕССОРНОЙ БАЛКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА**

Приводятся результаты теоретического (МКЭ) и экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния надрессорной балки грузового вагона. Показаны преимущества теоретического расчета.

**Н**а этапе проектирования, доводки и модернизации изделия важным является выбор такого метода исследований напряженно-деформируемого состояния (НДС), который обеспечивал бы минимальные затраты времени и средств, достаточную точность получаемых результатов, что позволяет рационально использовать резервы прочности материала и, следовательно, снизить массу и стоимость детали.

Объектом исследования является надрессорная балка тележки грузового вагона, определение НДС которой в связи со сложными условиями эксплуатации требует детального рассмотрения.

Возможны два направления исследования НДС надрессорной балки: либо аналитическим, либо экспериментальными методами.

Благодаря развитию вычислительной техники метод конечных элементов (МКЭ) получил наибольшее распространение среди аналитических методов. В настоящее время МКЭ и графические программы представления информации составляют единое целое в системах автоматизации научных исследований и проектирования, что позволяет существенно улучшить качество этих расчетов. Одним из таких программных комплексов является

MSC/NASTRAN for Windows [1], с помощью которого был произведен расчет надрессорной балки.

Среди экспериментальных методов наибольшее распространение получило тензометрирование.

Для проведения экспериментальных исследований в качестве объекта исследования была взята серийная надрессорная балка тележки грузового вагона выпуска 2002 года, принятая ОТК. Тензометрирование балки выполнялось на испытательном стенде ЦДМ-200. В качестве экспериментальной нагрузки была принята вертикальная статическая нагрузка.

Величина вертикальной статической нагрузки в условиях эксперимента  $P = 42$  т. Балка опирается на жесткие опоры.

Измерение деформаций производилось при помощи тензорезисторной розетки, образованной из трех проволочных тензодатчиков базой  $l = 20$  мм. Тензодатчики наклеивались по трем сечениям 1, 2 и 3-й балок (рисунок 1). Наклейка тензодатчиков выполнялась в строгом соответствии с методикой, изложенной в [2]. Места установки тензодатчиков показаны жирными точками (рисунок 1).

Регистрация деформаций и последовательное переключение датчиков в ходе эксперимента осуществлялись с помощью цифрового измерителя деформаций ИДЦ-1.

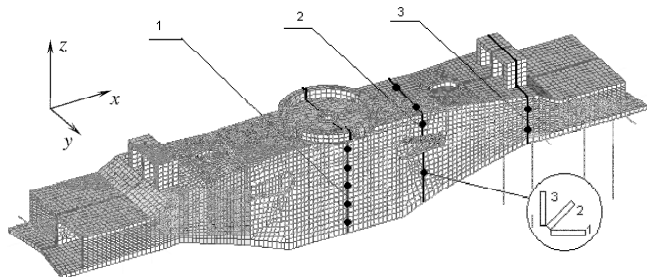


Рисунок 1 – Балка грузового вагона с нанесенной конечно-элементной сеткой и схемой расположения розеток тензодатчиков в трех ее сечениях;

Расчетная схема балки представлена на рисунке 1. Для дискретизации модели надрессорной балки использовались объемные 20-узловые конечные элементы типа HEX размером 20 мм, которые, как показывает предварительно проведенный численный эксперимент, обеспечивают приемлемую точность уже при одном слое конечных элементов. Эта модель состояла из 26376 узлов и 17311 элементов. Вертикальная нагрузка  $P = 42$  т прикладывалась к подпятнику в виде сосредоточенной силы. Такая нагрузка соответствует нагрузке при экспериментальном исследовании НДС.

Результаты тензометрирования балки и ее расчета по МКЭ в 3 сечениях приведены на рисунках 3–5. Из сечения 1 (см. рисунок 3) видно, что характер распределения напряжений, полученный экс-

периментально и теоретически, хорошо согласуется. Однако величины сжимающих напряжений на верхнем поясе балки, полученные экспериментально, на 10 % ниже теоретических, а на нижнем поясе растягивающие напряжения на 15 % выше теоретических. Такое расхождение в данных расчета и эксперимента можно объяснить лишь отличием фактических геометрических размеров от размеров чертежа. С целью выявления этого отличия было выполнено сверление сквозных отверстий в стенках надрессорной балки по сечению 1 (см. рисунок 1). Результаты замеров толщины стенок представлены на схематичном сечении балки (рисунок 2).

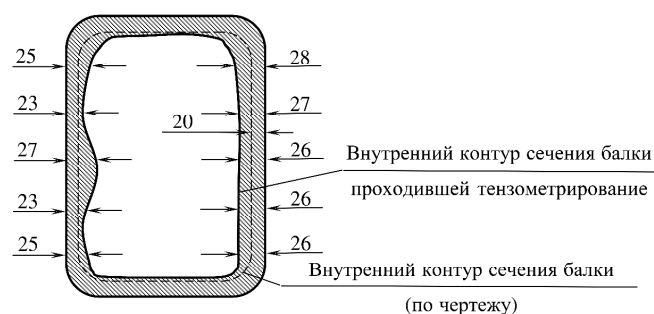


Рисунок 2 – Схематичное изображение сечения балки в зоне подпятника (толщина стенок указана в миллиметрах)

Сверление сквозных отверстий в стенках балки в первом сечении говорит о наличии разностенности, т. е. реальные размеры сечения отличаются от чертежных в сторону увеличения, причем это отличие может превосходить 30 %.

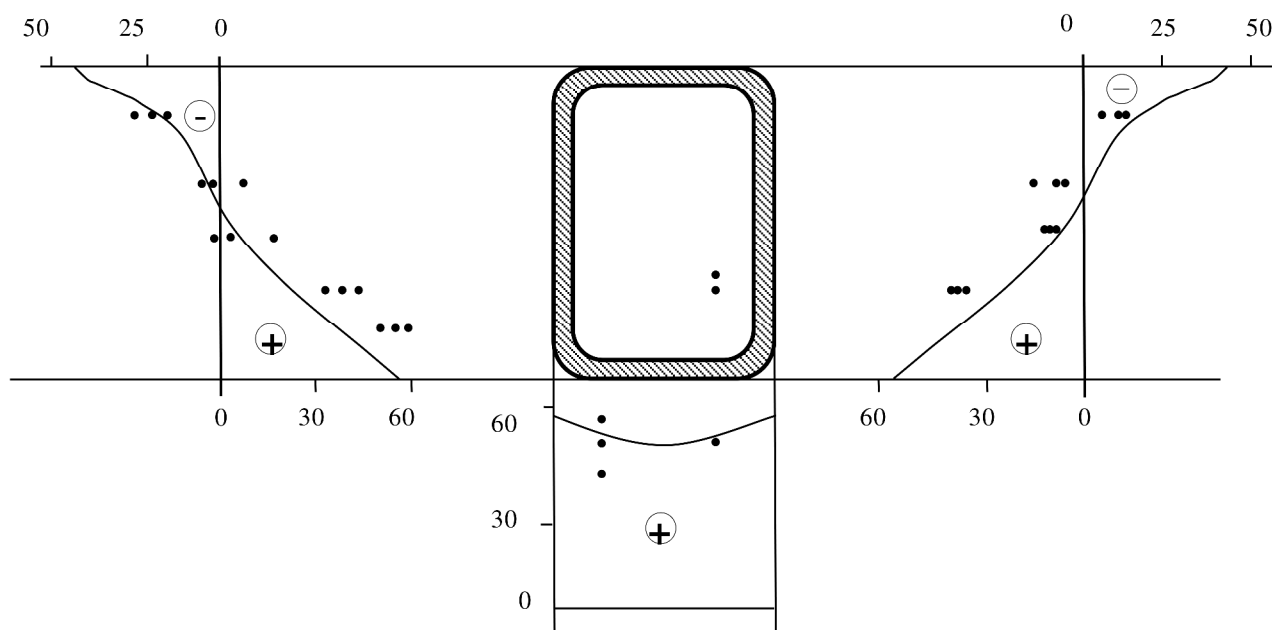


Рисунок 3 – Теоретическое (эпюры) и экспериментальное (точка) распределения напряжений по сечению 1 надрессорной балки ( $\sigma_x$ , МПа)

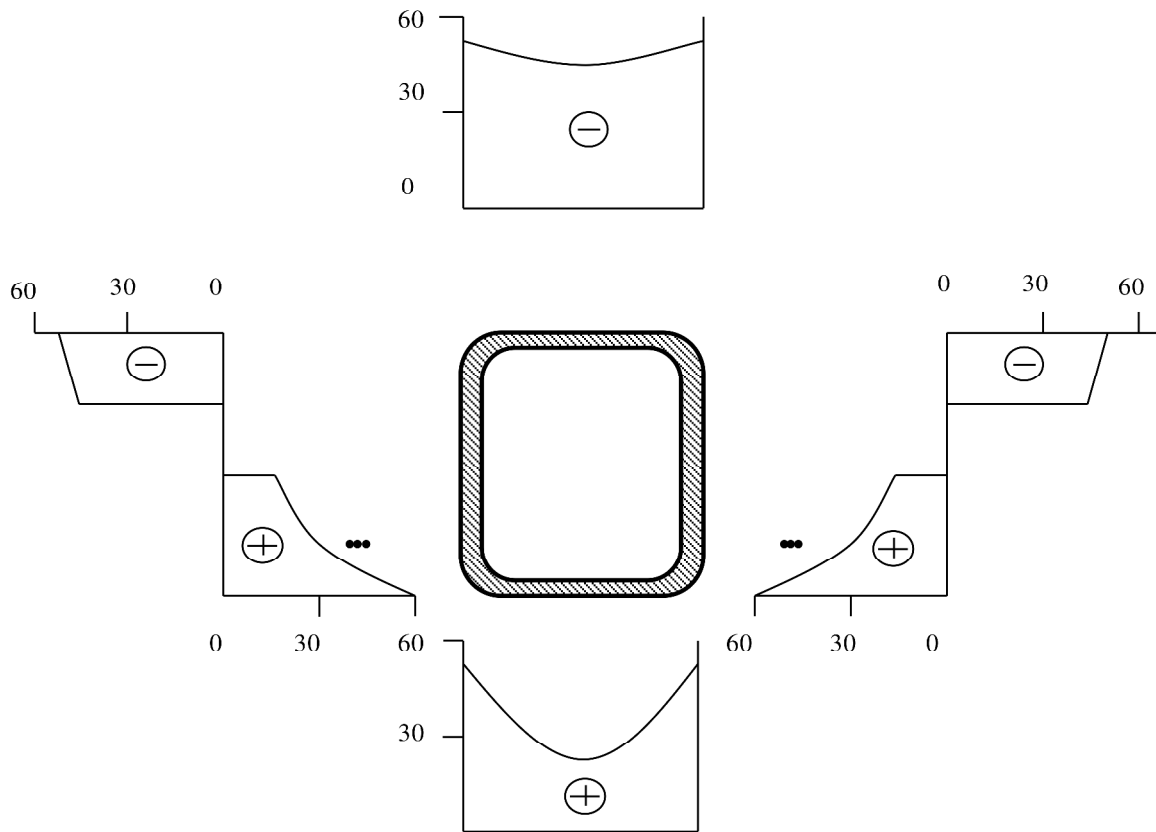


Рисунок 4 – Теоретическое (эпюры) и экспериментальное (точка) распределения напряжений по сечению 2 надressорной балки ( $\sigma_x$ , МПа)

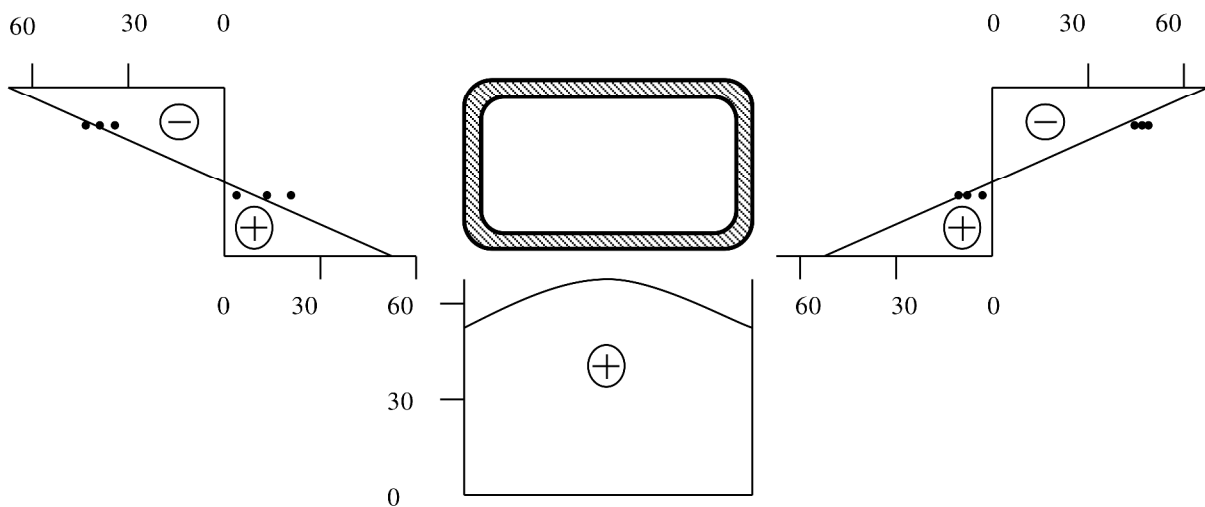


Рисунок 5 – Теоретическое (эпюры) и экспериментальное (точка) распределения напряжений по сечению 1 надressорной балки ( $\sigma_x$ , МПа)

Можно предположить, что разностенность носит непредсказуемый характер по длине балки. По существу, сравнивая результаты тензометрирования и расчета по МКЭ надressорной балки, мы сравниваем результаты, полученные для двух разных объектов. Поскольку геометрические размеры реальной балки и математической модели, построенной по заводским чертежам, никогда не будут

совпадать, то всегда будет наблюдаться различие между результатами эксперимента и численного расчета НДС, что обусловлено принятой технологией изготовления балки.

Несмотря на это, экспериментальные методы не утрачивают своей актуальности. Определение НДС элементов конструкций расчетными методами в реальных условиях эксплуатации часто быва-

ет затруднительно, поскольку невозможно учесть все факторы, влияющие на НДС. Решающее слово в таких случаях принадлежит эксперименту.

Реальные детали отличаются от конечно-элементной модели не только отклонением размеров, но и наличием литейных дефектов. Наличие, расположение и характер этих дефектов носит вероятностный характер, но, используя МКЭ, можно учесть их влияние на НДС балки.

Эксперимент хорош там, где геометрические размеры деталей имеют сравнительно небольшие допуски. Иначе экспериментатор получает данные только об одном исследуемом объекте, размеры которого ему во многом неизвестны.

Получено 14.07.2003

**B. G. Keglın, A. V. Yakovlev, S. V. Makeyev.** The analysis of research techniques stress - deformed state of unspring beam of the freight car.

There given results of theoretical (FEM) and experimental research of stress - deformed state of unspring beam of the freight car. The advantages of theoretical calculation are shown.

Таким образом, компьютерный расчет современными программами с применением метода конечных элементов позволяет наиболее полно решить статическую задачу, а тензометрирование незаменимо при проведении эксплуатационных испытаний.

#### Список литературы

1 Система конечно-элементного анализа общего назначения MSC/NASTRAN /Перевод с англ. *Б. В. Шатров, С. А. Бухаров, Ю. Р. Мартыненко, Д. М. Осипов*; Под ред. *Б. В. Шатрова*. – М.: МАИ, 1994.

2 *Игнатенко Ю. В.* Экспериментальные методы исследования механических параметров машин. – Брянск: изд.-во БИТМа, 1986. – 68 с.

---

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2003. № 2(7)

---

УДК 629.4.077

*П. К. РУДОВ, старший преподаватель; Белорусский государственный университет транспорта, Гомель*

### ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ИЗНОСА НАКЛАДОК ДИСКОВОГО ТОРМОЗА НА ЭФФЕКТИВНЫЙ РАДИУС ТРЕНИЯ

Излагается методика расчета эффективного радиуса трения при неравномерном износе тормозных накладок дискового тормоза. Приведены зависимости эффективного радиуса трения дискового тормоза дизель-поезда ДР1А(П) от величины смещения точки приложения силы нажатия от оптимального значения, соответствующего равномерному износу, для накладок из различных материалов.

**В** дисковом тормозе распределение удельных давлений по радиальному сечению новой неприработанной накладки имеет неявно выраженный максимум в местах передачи сосредоточенных сил нажатия [1, 2]. Однако в процессе приработки происходит ускоренный износ тех точек накладки, в которых совершается большая работа сил трения. Изменяется микрогеометрия поверхности трения, появляются изгибающие деформации в башмаке с накладками и происходит перераспределение удельных давлений по их площади. Закон распределения удельных давлений по радиальному сечению приближается к гиперболическому. При обследовании приработанных накладок, расположенных на башмаке дискового тормоза дизель-поезда ДР1А(П), установлено, что в средней части поверхности трения наблюдается так называемый “менисковый” износ, глубина которого достигает нескольких долей миллиметра. Это подтверждает протекание описанных выше процессов в период приработки фрикционного

элемента. В зависимости от координат точек приложения сосредоточенных сил нажатия происходит либо равномерный, либо один из видов неравномерного износа накладок. В последнем случае линии равного износа, а значит, и равной удельной мощности трения расположены параллельно друг другу и принимают форму прямых, так как износ накладок происходит в плоскости диска [3, 4]. При неравномерном износе накладок, вызванном смещением точки приложения силы нажатия, изменяется эффективный радиус трения, используемый при определении коэффициента трения при исследованиях и в тормозных расчетах. В таких случаях для получения более точных результатов при выполнении расчетов необходимо принимать соответствующий эффективный радиус трения.

Закон распределения удельных давлений по площади фрикционного контакта при неравномерном износе в направлении наружной или внутренней периферии имеет вид [5]

$$k_{\text{во}} [1 + C_{\text{к}} (\rho \cos \alpha - \rho_{\text{в}})] = p(\rho, \alpha) \varphi(\rho, \alpha) v(\rho), \quad (1)$$