

УДК 629.4.027.27

## О НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАДРЕССОРНЫХ БАЛОК ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

**В. И. СЕНЬКО, И. Ф. ПАСТУХОВ,  
С. В. МАКЕЕВ, М. И. ПАСТУХОВ**

*Белорусский государственный университет  
транспорта, г. Гомель*

Тележка модели 18-100 (ЦНИИ-ХЗ), работающая под 4-осными грузовыми вагонами свыше 60 лет (с 1956 г.), не отвечает уже современным требованиям по своим ходовым качествам и межремонтному пробегу, который должен быть сегодня от постройки до деповского ремонта не менее 500 тыс. км, а в последующие междеповские ремонты – 200 тыс. км. Однако долгожительство ее свидетельствует о том, что в ней было немало и хороших качеств, которые должны сохраниться и в новой модели тележки, идущей ей на смену, в частности – простота конструкции. Поэтому и в перспективе она сохранит свою основную суть – конструкцию с литыми боковыми рамами и надрессорной балкой.

За историю своего существования литые детали тележек непрерывно совершенствовались в своей конструкции, что привело к повышению их усталостной прочности на 60–80 % [1]. С целью дальнейшего повышения прочности и надежности литых деталей произведены исследования усталостной долговечности надрессорных балок тележек двух модификаций 18-100 (серийной) и 18-578 (опытной).

Классическим методом совершенствования конструкции деталей тележек, работающих в жестком динамическом нагружении, является метод, основанный на проведении усталостных испытаний натуральных деталей с оценкой их результатов, внесением изменений в конструкцию и последующих новых испытаний, пока не достигнется прогнозируемый результат. Применение указанного метода требует значительных затрат времени и средств, и его целесообразно использовать только на заключительном этапе. До этого периода более эффективно решать поставленную задачу расчетным путем.

Авторами исследовано напряженно-деформированное состояние трех конструкций надрессорных балок: колоночной с жесткими скользунами (черт. 100.00.001-0, серийная, выпуск до 1980 г., тележка модели 18-100), бесколоночной с жесткими скользунами (черт. 100.00.001-5, серийная, выпуск с 1980 г., тележка 18-100), а также бесколоночной с упругими скользунами (черт. 578.00.001-0), опытная, выпуск с 2003 г., тележка 18-578). Расчет выполнен на статическую нагрузку 420 кН с использованием объемных конечноэлементных моделей в программном комплексе Nastran. Разбивка произведена на 17233 конечных элементов и 26376 узлов.

В эксплуатации в надрессорных балках возникают усталостные трещины с вероятностью 0,0046 [2]. Они охватывают 11 зон, но из них только трещины по нижнему поясу угрожают безопасности движения, так как их развитие приводит к разрушению балок с тяжелыми последствиями. Доля их в общем объеме трещин составляет примерно 20 % [2]. Поэтому в выполненных расчетах анализ напряженного состояния сделан только по нижнему поясу в трех сечениях, в которых в эксплуатации наиболее вероятно появление трещин. Сечение 1-1 – середина балки, в зоне подпятника на расстоянии 100 мм от поперечной оси симметрии; 2-2 – на расстоянии

425 мм от поперечной оси симметрии (зона технологических отверстий) и 3-3 – на расстоянии 746 мм от середины балки (зона скользунов).

На рис. 1 приведено распределение эквивалентных напряжений в надрессорной бесколоночной балке с жесткими скользунами от нагрузки 420 кН, серийно выпускаемой до настоящего времени, под тележками модели 18-100, а в табл. 1 – по всем трем балкам. Анализ приведенных напряжений показывает, что от указанной нагрузки во всех трех балках напряжения ниже допускаемых 250 МПа (для конструкционно легированной стали 20ГЛ) и что наибольшие напряжения в них возникают по нижнему поясу и колеблются в зависимости от конструкции балки от 50 до 75 МПа (20–30 % от допускаемых). Из табл. 1 также видно, что переход от колоночной конструкции (1980 г.) в подпятниковой зоне балки к бесколоночной привело к снижению напряжений в сечениях 1-1 и 2-2 (в зоне наиболее вероятных эксплуатационных повреждений) соответственно на 26 и 39 % (с 75 до 55 МПа и с 87 до 53 МПа). В зоне скользунов напряжения остались неизменными на уровне 62–65 МПа.

Таблица 1

**Величины эквивалентных напряжений в надрессорных балках тележек грузовых вагонов по трем сечениям в нижнем поясе**

| Тип балки (чертеж), величины, место и способ приложения нагрузки, модель тележки   | Эквивалентные напряжения в сечениях, МПа |                  |                  |                  |                  |                  |
|--|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|  | 1-1                                      |                  | 2-2              |                  | 3-3              |                  |
|  | Интервал величин                         | Среднее значение | Интервал величин | Среднее значение | Интервал величин | Среднее значение |
| Колоночная (100.00.001-0), $P_{ст} = 420$ кН – равномерно по подпятнику, 18-100  | 68–88                                    | 75               | 85–90            | 87               | 41–83            | 62               |
| Бесколоночная (100.00.001-5), скользуны жесткие, $P_{ст} = 420$ кН – равномерно по подпятнику, 18-100                                  | 53–58                                    | 55               | 45–66            | 53               | 47–79            | 65               |
| Бесколоночная (578.00.001-0), скользуны упругие, $P_{ст} = 380$ кН, $P_{ск} = 20$ кН – равномерно по подпятнику и скользунам, 18-578   | 49–54                                    | 52               | 41–61            | 49               | 49–79            | 64               |
| Бесколоночная (578.00.001-0), скользуны упругие, $P_{ст} = 372$ кН, $P_{ск1} = 4$ кН, $P_{ск2} = 44$ кН – нагрузка с перекосом, 18-578 | 49–53                                    | 51               | 39–61            | 48               | 56–84            | 68               |

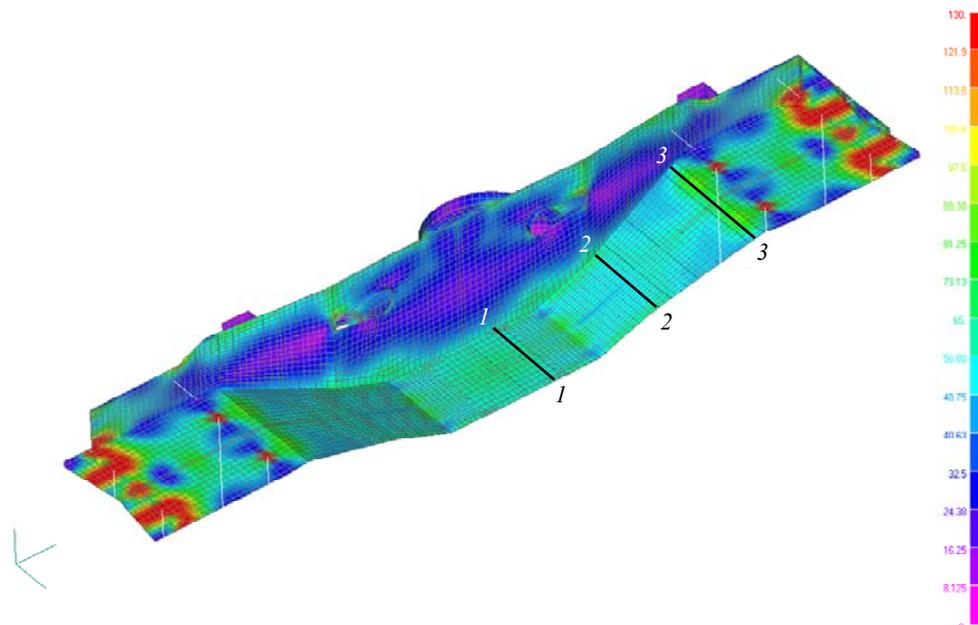


Рис. 1. Распределение эквивалентных напряжений в надрессорной бесколоночной балке с жесткими скользящими от нагрузки 420 кН

Очередное изменение конструкции балки (2003 г.) с введением упругих скользящих принципиального изменения напряженного состояния балки в статическом режиме нагружения не произвело. В средней зоне (сечения 1-1 и 2-2) снижение составило 5 % (с 55 до 52 МПа), а в зоне скользящих (3-3) напряжения остались на одном уровне – 64–65 МПа. При движении вагона по кривым участкам пути, когда нагрузка на один из скользящих возрастает с 20 до 44 кН, напряжения в этой зоне (3-3) возрастают на 5,8 % (с 64 до 68 МПа). То есть в целом можно констатировать, что переход от колоночной конструкции балки к бесколоночной дал значительное снижение напряжений, а переход от конструкций балки с жесткими скользящими на балки с упругими скользящими в статическом режиме нагружения не привел к заметному снижению напряжений. Он только обеспечил более равномерное распределение напряжений по длине балки. Но это только в состоянии статики. Чтобы оценить изменения напряженного состояния надрессорных балок в состоянии динамики найдены величины амплитудных напряжений в бесколоночных балках с жесткими скользящими (тележка 18-100) и с упругими скользящими (тележка 18-578).

Амплитуды динамических напряжений определены по зависимости [3]

$$\sigma_{ai} = \sigma_{cti} k_{дв} \quad (1)$$

где  $\sigma_{cti}$  – напряжения от статической нагрузки в  $i$ -м сечении;  $k_{дв}$  – коэффициент вертикальной динамики.

Величины коэффициентов вертикальной динамики получены расчетным путем для тележек модели 18-100 и 18-578 в зависимости от скоростей движения по распределению [3, табл. 3, 4, с. 72]. Средние значения их составили соответственно для надрессорных балок –  $k_{дв1} = 0,153$  и  $k_{дв2} = 0,133$ . Снижение коэффициентов вертикальной динамики опытных балок составило 13 %, а по экспериментальным данным ПО «Уралвагонзавод» – 12–15 % [4, рис. 10, с. 60]. Таким образом, сходимость результатов, полученных расчетным и экспериментальным путем, вполне удовлетворительна.

Величины амплитудных напряжений в надрессорных балках тележек модели 18-100 при движении со скоростями от 20 до 120 км/ч изменяются: в сечении 1-1 – от 2,2 до 13,3 МПа, а в сечении 3-3 – от 2,6 до 15,7 МПа. Тогда как в балках тележек модели 18-578 они соответственно распределяются в пределах 2,1–10,3 МПа и 2,5–12,7 МПа. То есть в надрессорных балках тележек модели 18-578 амплитудные напряжения как по средней зоне, так и по скользящим снижаются на 22,5 %.

По спектрам амплитуд динамических напряжений найдены эквивалентные напряжения по формуле [3, с. 67]

$$\sigma_{azi} = \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_0} \cdot \sigma_{ai}^m \cdot P_{Ui}}, \quad (2)$$

где  $N_c$  – суммарное число циклов, воспринимаемых надрессорной балкой за срок службы,  $N_c = 34,63 \cdot 10^7$ ;  $N_0$  – базовое число циклов при усталостных испытаниях надрессорных балок,  $N_0 = 10^7$ ;  $\sigma_{ai}$  – амплитуда динамических напряжений  $i$ -го уровня;  $P_{Ui}$  – вероятность появления напряжений  $i$ -го уровня;  $m$  – показатель степени кривой выносливости,  $m = 4,5$ .

Коэффициенты запаса сопротивления усталостной прочности балок равны

$$n = \frac{(\sigma_{aN})_{0,95}}{\sigma_{azi}}, \quad (3)$$

где  $(\sigma_{aN})_{0,95}$  – предел выносливости надрессорной балки по амплитудным напряжениям с вероятностью неразрушения 0,95;  $\sigma_{azi}$  – эквивалентные напряжения в  $i$ -м сечении надрессорной балки.

Параметры эксплуатационных характеристик надрессорных балок с результатами расчета сведены в табл. 2.

Таблица 2

Эксплуатационные параметры надрессорных балок тележек грузовых вагонов

| Параметры  | Тип надрессорной балки                        |   |
|--|---|---|
|  | Бесколоночная с жесткими скользящими (18-100) | Бесколоночная с упругими скользящими (18-578) |
| Суммарное число циклов за срок службы 32 года    | 34,63 · 10 <sup>7</sup>                       | 34,63 · 10 <sup>7</sup>                       |
| Предел выносливости $(\sigma_{aN})_{0,95}$ , МПа | 30  | 35  |
| Эквивалентные напряжения $\sigma_{azi}$ , МПа    | 20,78   | 20,78   |
|  | 24,56   | 21,9  |
| Коэффициент запаса сопротивления усталости $n$   | 1,44  | 1,68  |
|  | 1,22  | 1,59  |

Примечание. Числитель – в сечении 1-1, знаменатель – в сечении 3-3.

Пределы выносливости современных надрессорных балок, изготовленных из конструкционной легированной стали марки 20ГЛ, тележек модели 18-100 и 18-578 при вероятности неразрушения по амплитудным нагрузкам (напряжениям) состав-

ляют  $P_a(0,95) = 165,3$  кН ( $(\sigma_{aN})_{0,95} = 30$  МПа) и  $P_a(0,95) = 193,9$  кН ( $(\sigma_{aN})_{0,95} = 35$  МПа) [4, рис. 3, с. 57].

Как следует из табл. 2, несущая способность надрессорных балок существующих (тележек модели 18-100) и перспективных (модели 18-578) достаточна, причем коэффициент запаса сопротивления усталости новых балок на 23 % выше, чем у серийных. Однако в эксплуатации усталостные трещины в серийных балках все же возникают. Это уже является следствием эксплуатационно-технологических факторов: экстремальных условий нагружения и качества литья, что требует самостоятельных исследований. Тем более, что имеющийся статистический материал об эксплуатационных повреждениях надрессорных балок собран без разделения по их типам, что не позволяет дать объективную оценку о проводимых мероприятиях по повышению несущей способности деталей.

### **Заключение**

Бесколоночные надрессорные балки с жесткими скользунами тележек модели 18-100 обладают достаточной несущей способностью для восприятия нормированных эксплуатационных нагрузок.

Введение в тележках модели 18-578 упругих скользунов снижает уровень амплитудных динамических напряжений в нижних поясах надрессорных балок на 22,5 % и увеличивает их эксплуатационную надежность на 23 % в сравнении с балками, имеющими жесткие скользуны.

Имеющийся статистический материал об эксплуатационных повреждениях надрессорных балок без разделения по их типам недостаточен. Требуется дополнительные исследования по этому вопросу с дифференциацией по каждому типу балок.

### **Литература**

1. Разработка методики диагностирования литых несущих деталей (надрессорных и боковых балок) тележек : ЦНИИ-ХЗ (18-100), проработавших более 30 лет, и порядок продления срока службы : отчет о НИР / ГосНИИВ-ВНИИЖТ; рук. Л. Н. Косарев. – Москва, 2000. – 88 с.
2. Сенько, В. И. Итоги комплексной оценки остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов / В. И. Сенько, И. Ф. Пастухов, М. И. Пастухов // Вестн. БелГУТа. – 2006. – № 1–2. – С. 5–10.
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Введ. 22.01.96. – Москва : ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – 1996. – 319 с.
4. Бочкарев, Н. А. Организация серийного производства тележек 18-578 для новых вагонов / Н. А. Бочкарев // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 7. – С. 53–60.

*Получено 23.10.2008 г.*