

Опыт применения продуктов MSC.Software для исследования усталостных свойств конструкции боковой рамы и надрессоренной балки тележки типа 18-100

**Майстериков С.А. Осипов Р.В. Рыбников Е.К.
Московский Государственный Университет Путей сообщения (МИИТ)
ЗАО «РМ-Рейл Инжиниринг»**

В статье приведены результаты расчётов боковой рамы и надрессоренной балки тележки с помощью системы MSC.Fatigue.

Целью работы является определение уровня усталостной прочности боковой рамы и надрессорной балки тележки расчетом при испытательных нагрузках и сравнения результатов расчета с результатами стендовых испытаний. Общий вид тележки показан на рисунке 1.

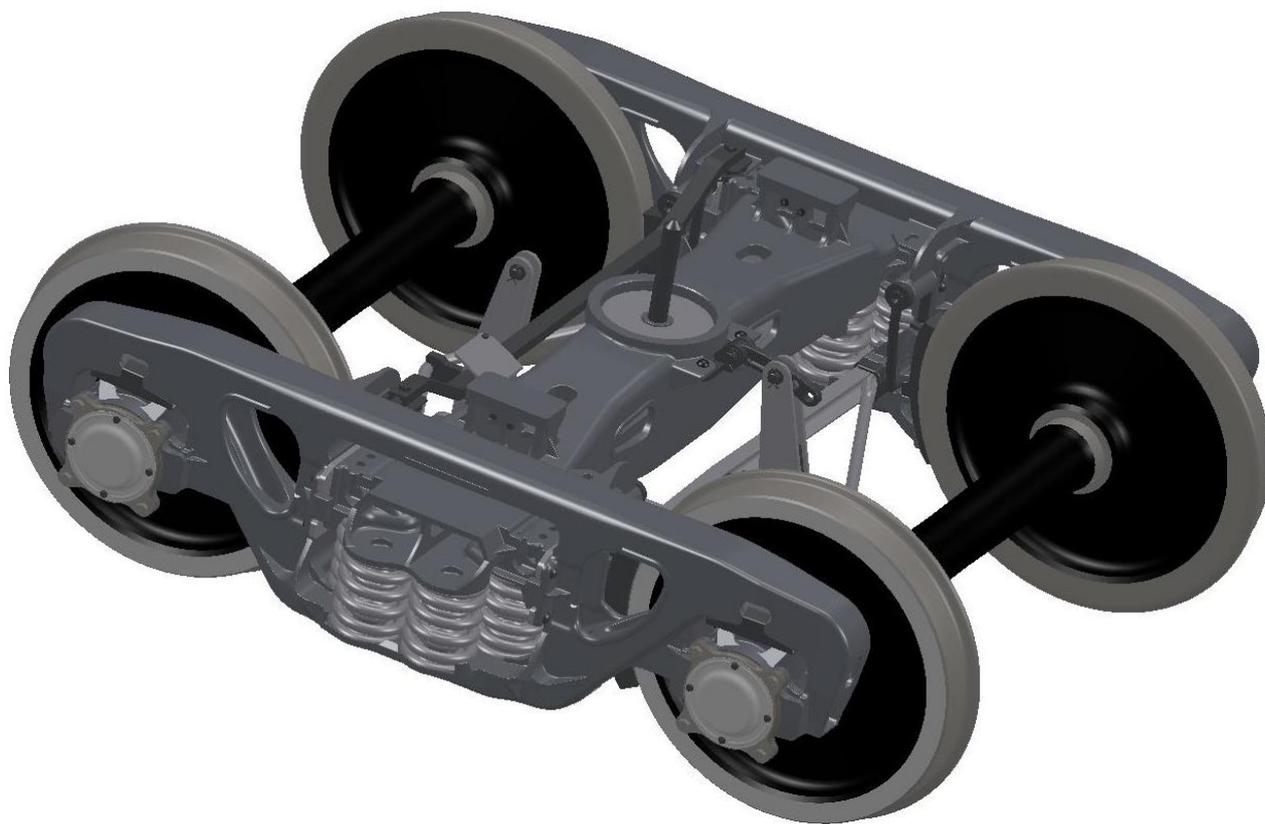


Рисунок 1

Конечно-элементная расчётная модель боковой рамы и надрессорной балки показаны на рисунках 2 и 3.

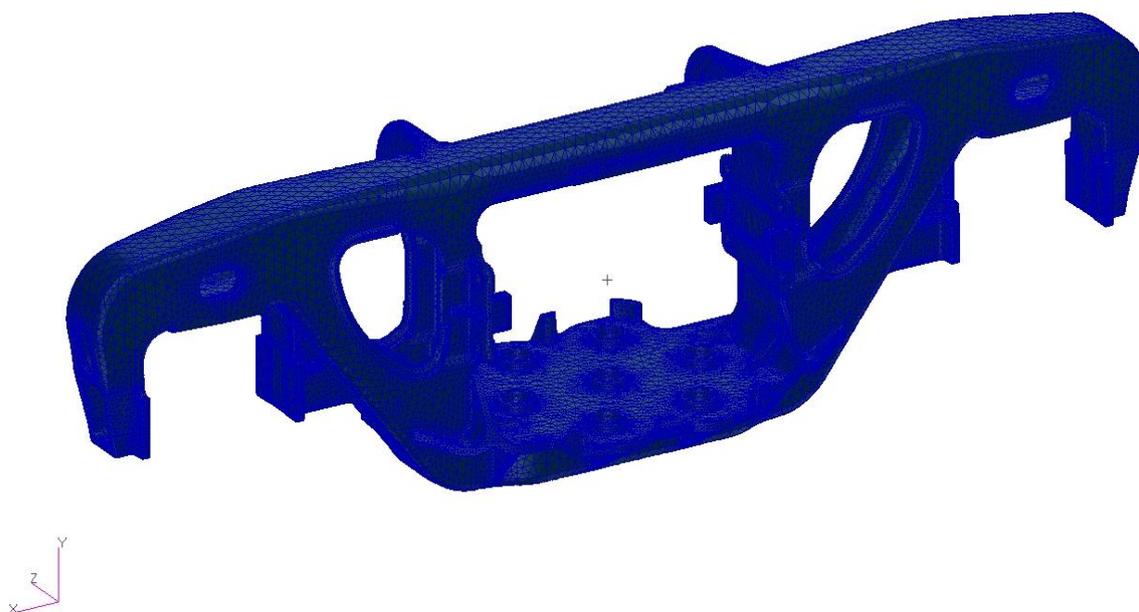


Рисунок 2

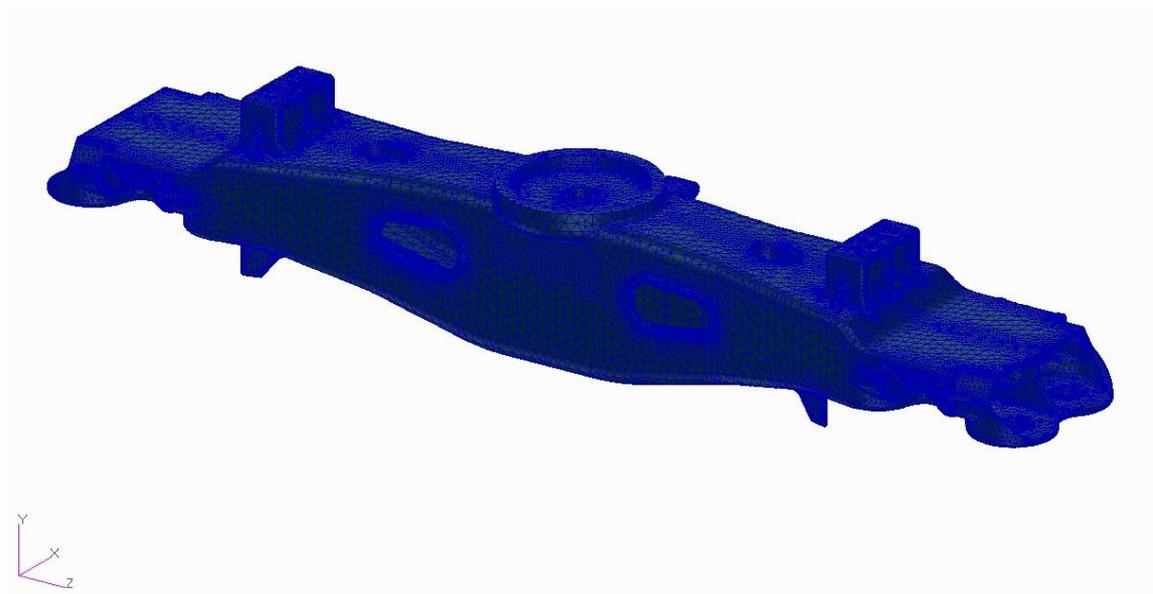


Рисунок 3

При генерации сетки конечно-элементной модели вагона использованы элементы Tet10. Средний размер конечного элемента принят равным 0,02 м, учитывая рекомендацию программного пакета. Количество элементов в боковой раме тележки составляет 666012, количество узлов 1054590. Количество элементов в надрессорной балке тележки составляет 575779, количество узлов 909669.

Для проведения усталостных расчётов необходимо знать результаты статического расчёта, который будет обозначать средний уровень напряжения работы конструкций при испытаниях. Схемы нагружения конструкций представлены на рисунке 4.

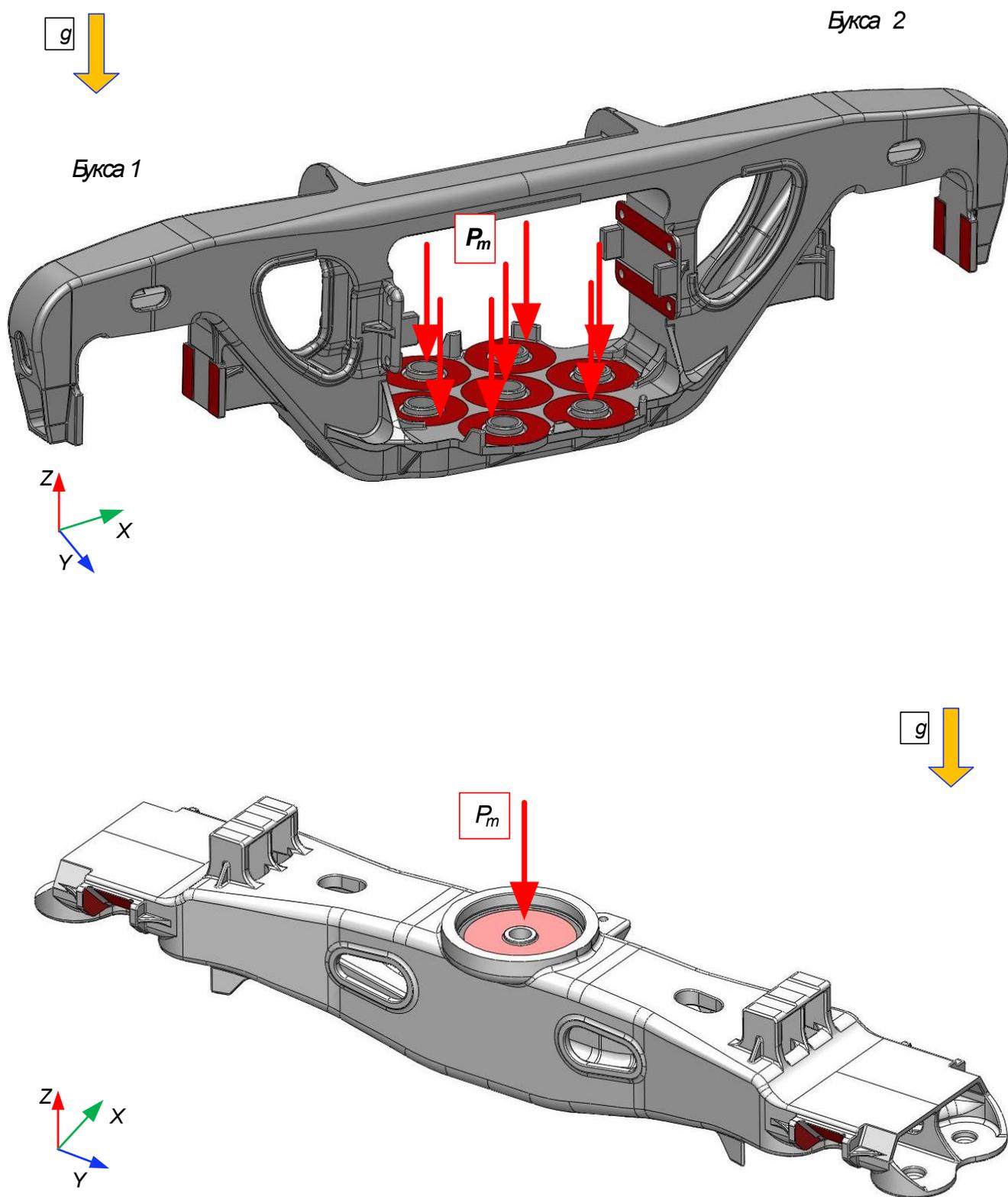


Рисунок 4

А для расчета сопротивления усталости методом конечных элементов необходимо к конструкции приложить историю нагружения. При проведении стендовых испытаний боковая рама и надрессорная балка нагружаются симметричным циклом нагружения относительно среднего значения P_m . Рисунок 5.

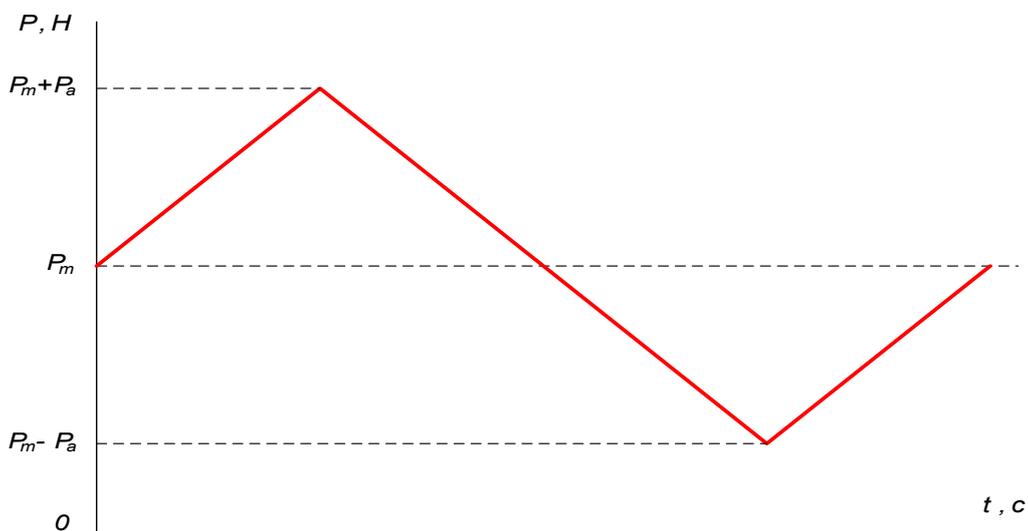


Рисунок 5

Расчёт сопротивления усталости и построения кривой усталости (Веллера) производим по четырём уровням амплитуд для каждой конструкции, как оговаривается в методике испытаний боковой рамы и надрессоренной балки тележки.

Для получения характеристики материала конструкции произведён расчет усталости и кривой Веллера по ГОСТ 25.504-82 «Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости» с использованием основного уравнения кривой усталости:

$$\sigma^m \cdot N = \sigma_{-1}^m \cdot N_b.$$

В итоге получаем график кривой усталости для стали 20ГЛ, рисунок 6.

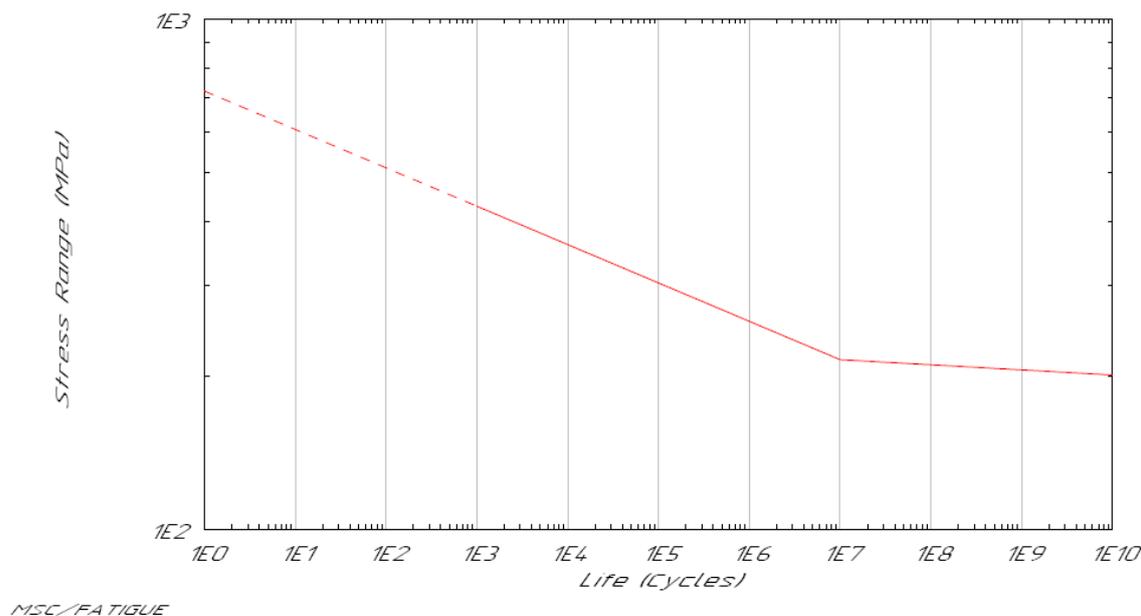


Рисунок 6

Результаты статического расчёта боковой рамы и надрессорной балки от нагрузки P_m в виде распределения напряжений (рисунки 7 и 8). представлены в виде эквивалентных напряжений по Мизесу в Ньютонах.

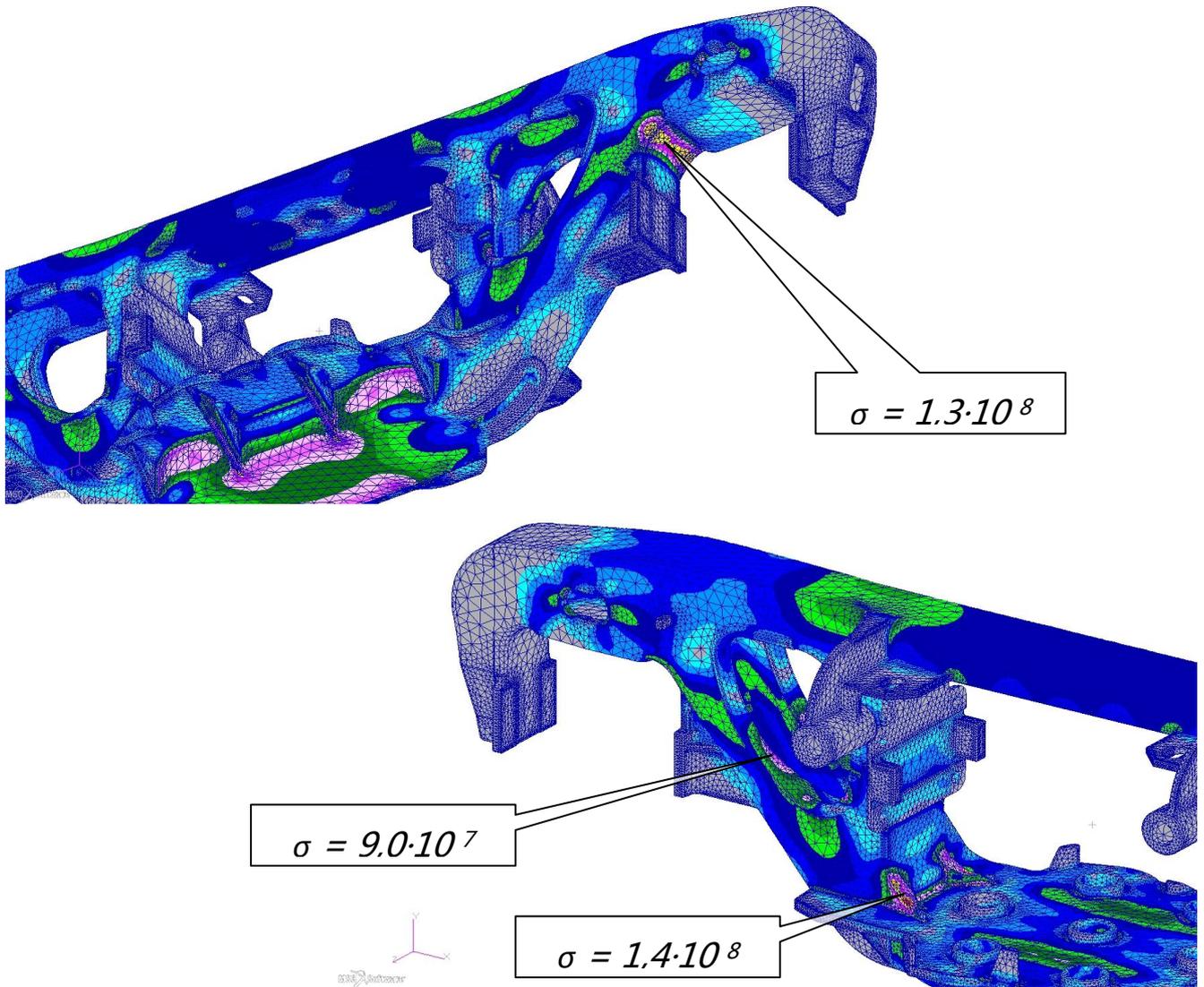


Рисунок 7

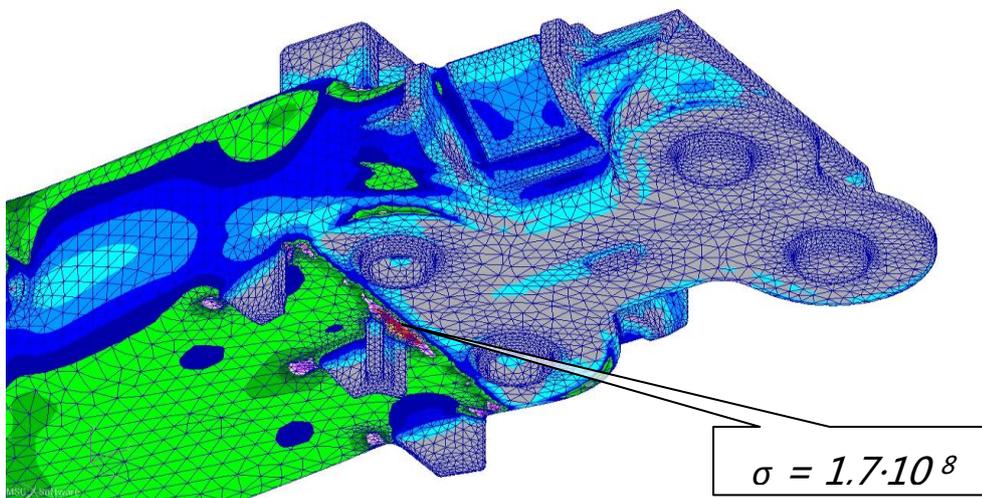


Рисунок 8

Используя программный комплекс MSC.Fatigue, зная кривую усталости материала, результаты статического расчёта и историю нагружения при различных амплитудах находим число циклов до разрушения в S-N постановке.

В результате расчёта получены отображение зон возникновения усталостных трещин и количества циклов до разрушения в этих зонах по конструкции боковой рамы тележки и надрессоренной балки (рисунки 9,10,11).

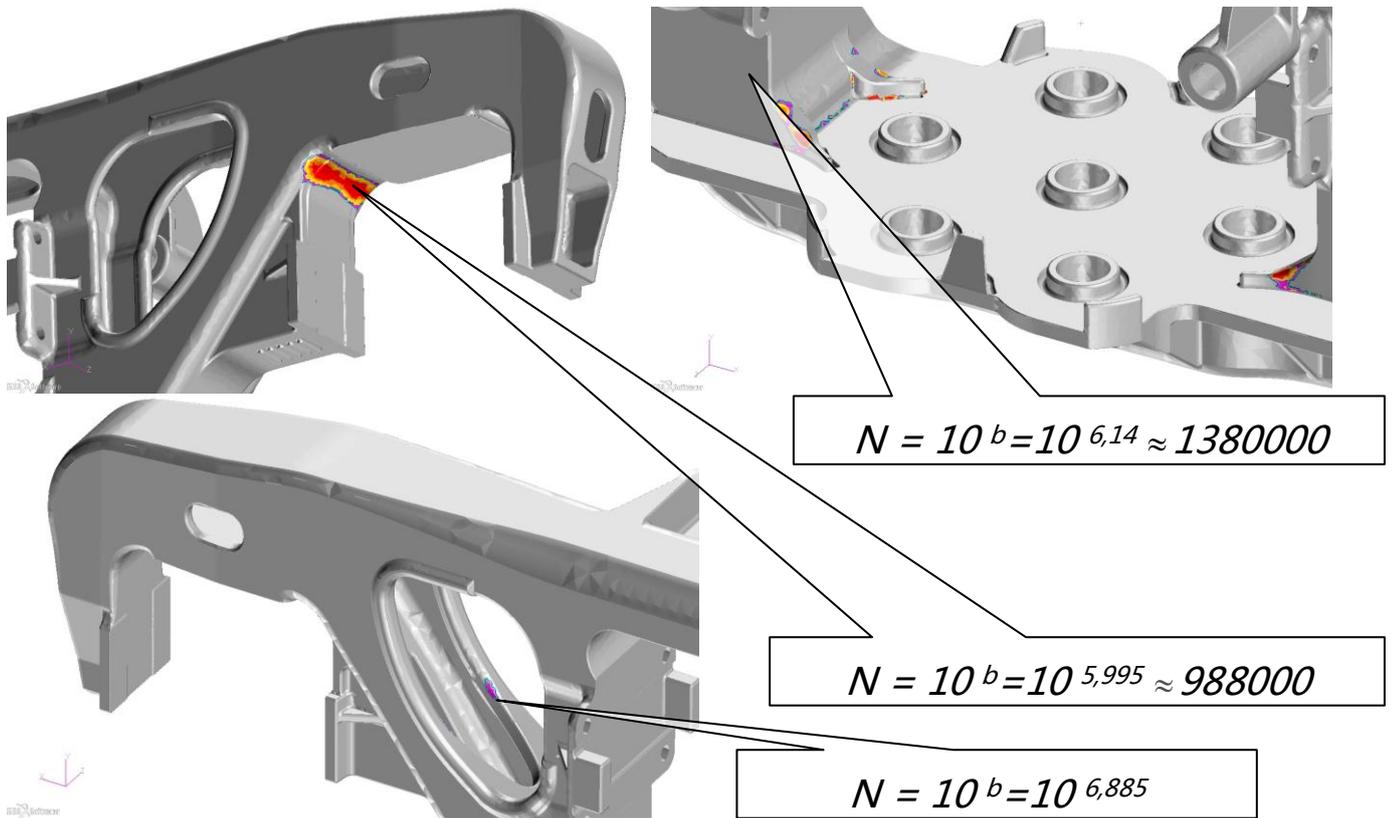


Рисунок 9

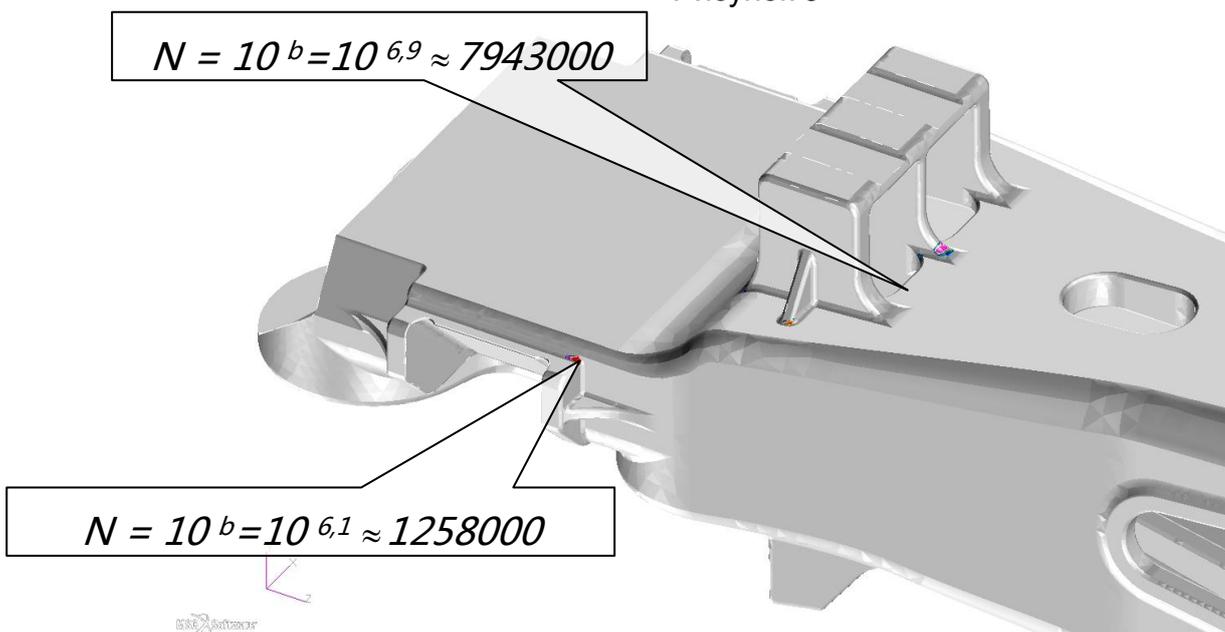


Рисунок 10

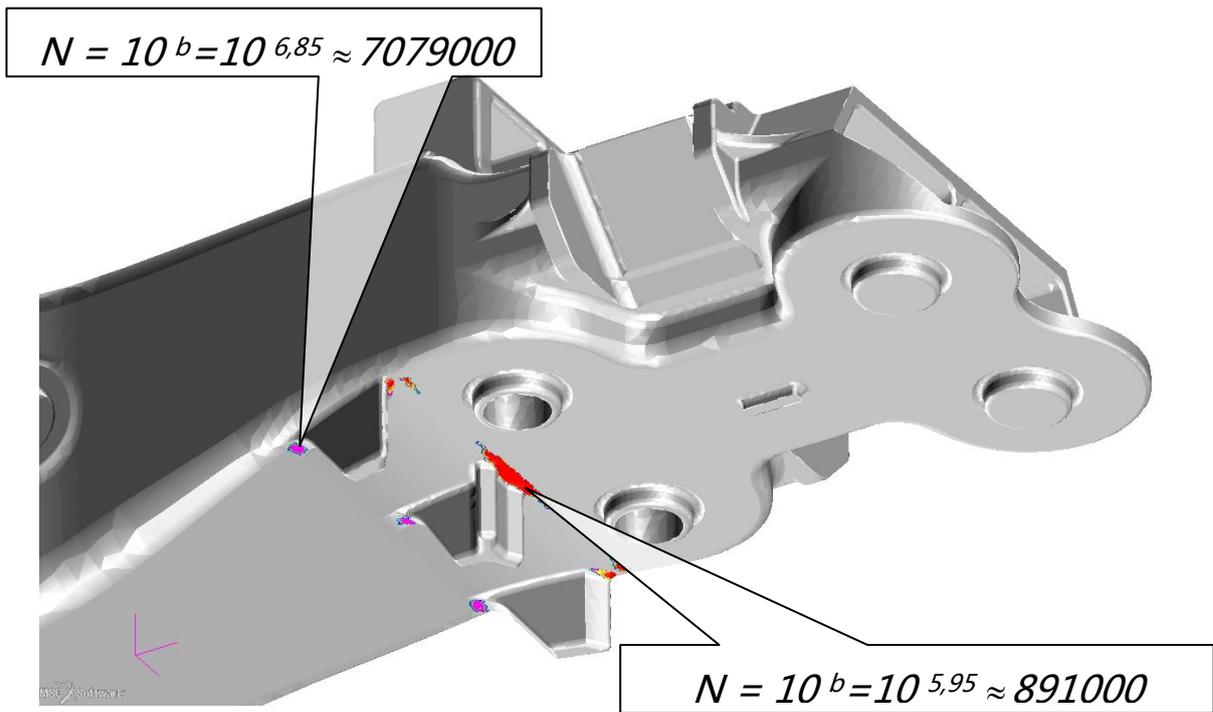


Рисунок 11

Результаты усталостных расчётов при различных уровнях амплитуд нагружения сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Величины количества циклов в зонах прогноза возникновения усталостных трещин

Режим нагружения	Зона	Количество циклов до разрушения			
		Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 4
Боковая рама	Ребро угла центрального проема (1)	1380000	1778000	5495000	10715000
	Внутренний угол буксового проёма (2)	988000	1412000	3890000	31622000
Надрессорная балка	Угол направляющей клина (1)	1258000	2512000	5112000	15840000
	Угол центрального отлива под пружины (2)	891000	1258000	7943000	25118000

Сравнивая кривые выносливости с натурными испытаниями совместим графики выносливости, полученные по расчету методом конечных элементов и по результатам натурных испытаний.

Расчетные значения количества циклов до возникновения трещины в боковой раме в зонах 1 и 2 по режимам нагружения сведены в таблицу 2. Испытательные

значения количества циклов до возникновения трещин в боковой раме по режимам нагружения сведены в таблицу 3.

Таблица 2 - Расчетные значения количества циклов до возникновения трещины в боковой раме в зонах 1 и 2 по режимам нагружения

P_a	265000	245000	225000	206000
N_f	1380000	1778000	5495000	10715000
N_b	988000	142000	3890000	15849000

Таблица 3 - Испытательные значения количества циклов до возникновения трещин в боковой раме по режимам нагружения

P_a	245250	245250	245250	245250	225630	225630	206010	206010	186390
N_f	3340000	1253000	1710000	2825000	4695000	3722000	8559000	7956000	1507

Кривые выносливости боковых рам (испытанных и рассчитанные (зона конструкции 1 и 2)) изображены на рисунке 12.

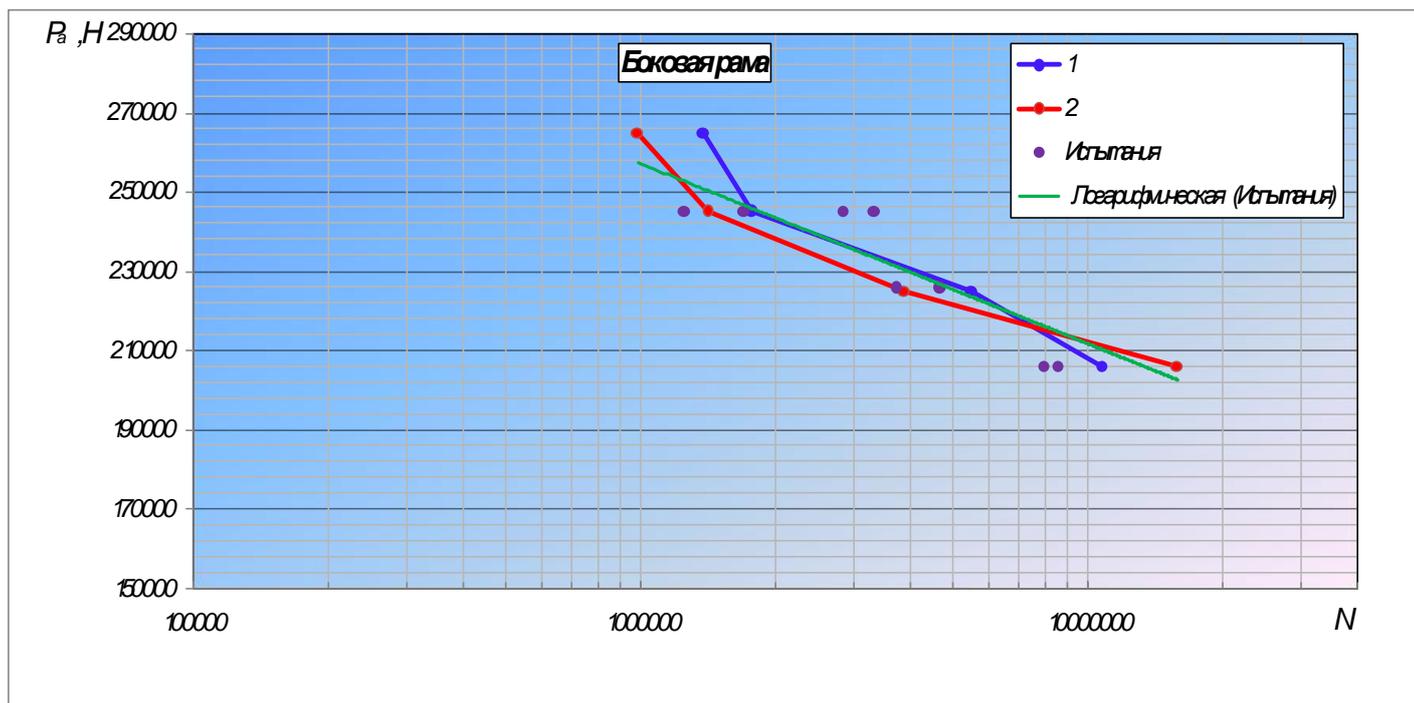


Рисунок 12 – Кривые выносливости боковых рам (испытанных и рассчитанные (зона конструкции 1 и 2))

Расчетные значения количества циклов до возникновения трещины в надрессорной балке в зонах 1 и 2 по режимам нагружения сведены в таблицу 8. Испытательные значения количества циклов до возникновения трещин в надрессорной балке по режимам нагружения сведены в таблицу 4.

Таблица 4 - Расчетные значения количества циклов до возникновения трещины в боковой раме в зонах 1 и 2 по режимам нагружения

P_a	343000	323000	314000	304000
N_f	1258000	2512000	5112000	15840000
N_b	891000	1258000	7943000	25118000

Таблица 5 - Испытательные значения количества циклов до возникновения трещин в боковой раме по режимам нагружения

P_a	343350	343350	343350	323730	323730	304110	304110	274680	264870
N_f	1564000	2150000	2630000	2790000	4166000	5156000	8000000	4757000	1E+07

Кривые выносливости наддресорных балок (испытанных и рассчитанные (зона конструкции 1 и 2)) изображены на рисунке 13.

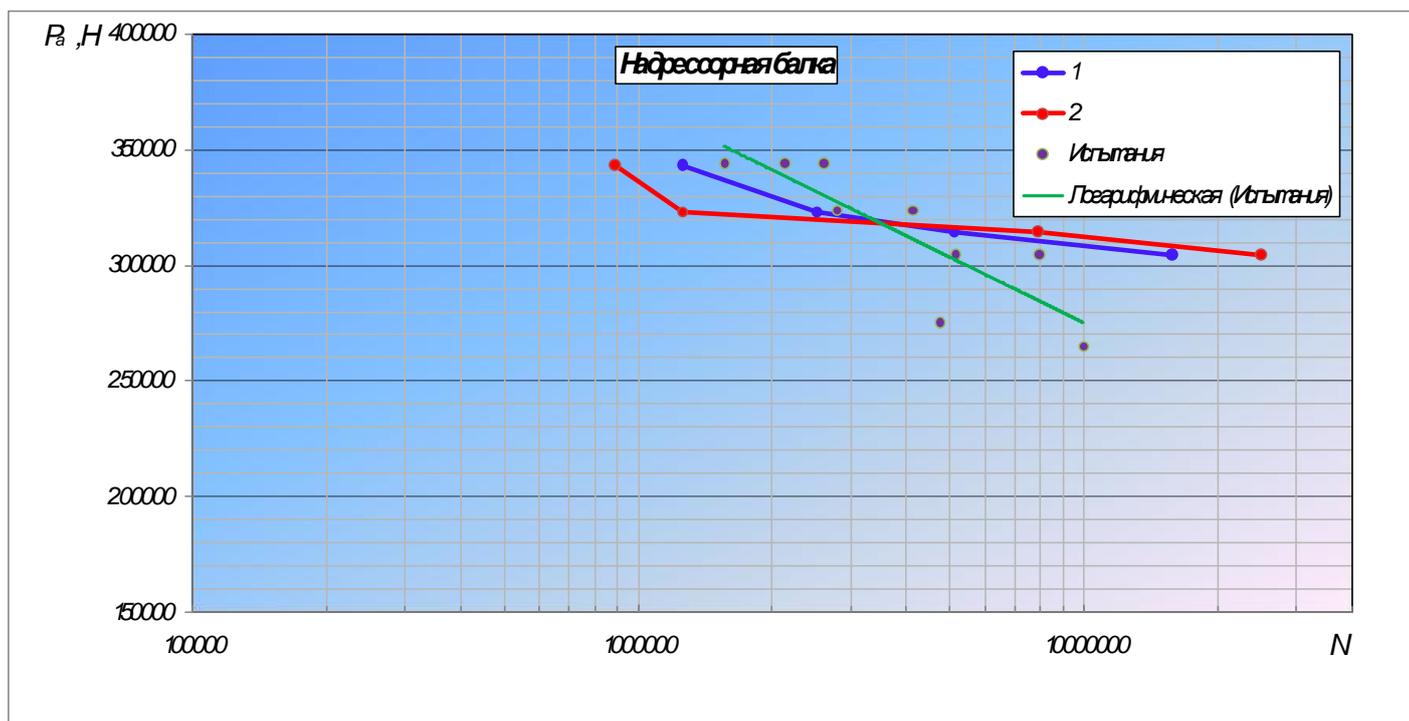


Рисунок 13 – Кривые выносливости наддресорных балок (испытанных и рассчитанные (зона конструкции 1 и 2))

Выполненный расчёт сопротивления усталости боковой рамы и наддресорной балки тележки показал, что при нагружении переменными испытательными нагрузками боковой рамы и наддресорной балки, согласно методике испытаний на усталость, вероятные зоны возникновения усталостных трещин, полученные по расчету на сопротивление усталости МКЭ, имеют хорошую корреляцию с местами

наиболее частых усталостных изломов, получаемых в результате натуральных усталостных испытаний.

Полученные графики зависимости амплитуды нагрузки от количества циклов до разрушения имеют схожие спектры значений на каждом уровне нагрузки при расчете на сопротивление усталости МКЭ и при натуральных усталостных испытаниях.

Факторы, влияющие на сопротивление усталости при испытаниях и частично учитываемые в расчете МКЭ:

- структура материала при создании конструкции (литьё) – не учитывается;
- масштабный фактор – не учитывается;
- асимметрия цикла – учитывается;
- состояние поверхности (качество поверхности и её упрочнение) – учитывается;
- конструктивные концентраторы напряжений – учитывается в МКЭ;
- температура испытаний – не учитывается;
- частота нагружения – не учитывается;
- контактное трение – не учитывается.

В связи с этим можно сделать вывод о хорошей сходимости результатов расчета на сопротивление усталости методом конечных элементов и натуральных испытаний.

Данное исследование показывает возможность и пользу применения результатов расчета методом конечных элементов с использованием MSC.Fatigue на этапе проектирования для качественной оценки вероятных зон появления трещин в изделии и последующей доработки конструкции с учетом полученных данных этого расчета с целью улучшения качества продукции и снижения времени выхода готового изделия.

Список литературы

1. *к.т.н.Б.Б. Бунин «Краткое руководство пользователя пакета программ MSC.Fatigue» Коломна, ВНИКТИ 2007г.*
2. *Надрессорные балки и боковые рамы литые двухосных тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм. Методики испытания на усталость. 2010г.*
3. *ГОСТ 25.504-82 Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета хапрактеристик сопротивления усталости.*