

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БОКОВОЙ РАМЫ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Горелов В.Н.

Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк

Ключевые слова: боковая рама, грузовой вагон, тележка, напряжение, деформация.

Аннотация. В статье излагается исследование напряжений и деформаций в боковой раме тележки грузового вагона, работающего под воздействием внешних нагрузок от веса груженого вагона. Расчет осуществлен посредством системы автоматизированного проектирования и инженерных расчетов T-Flex. Приводятся рекомендации по совершенствованию конструкции боковой рамы.

CALCULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE SIDE FRAME TRUCKS FREIGHT WAGON

Gorelov V.N.

Siberian state industrial university, Novokuznetsk

Keywords: side frame, freight car, trolley, stress, deformation.

Abstract. The article describes the research of stresses and strains in the side frame of the truck of the freight wagon operating under the influence of external loads from the weight of the loaded wagon. The calculation was carried out by means of computer-aided design and engineering calculations T-Flex. Recommendations for improving the design of the side frame are given.

Проектирование и производство современного грузового железнодорожного вагона, с улучшенными технико-экономическими показателями, имеющего повышенную эксплуатационную надежность, является одной из первоочередных задач современного вагоностроения.

Возможности современных технологий расчета и проектирования сложных конструкций позволяют более тщательно исследовать распределение напряжений и деформаций основных несущих элементов грузового вагона, к которым прежде всего следует отнести железнодорожные колеса, оси и боковые рамы тележки грузового вагона.

Традиционная технология производства боковой рамы, одной из ответственных деталей тележки грузового вагона, основана на выплавке стали в мартеновской печи. Далее осуществляют выпуск металла в разливочный ковш, фасонное литьё в земляные формы, зачистку и термообработку. Согласно требованиям ОСТ 32.183-2001 боковая рама должна иметь высокие прочностные и пластические характеристики: предел текучести σ_T – не менее 294 МПа, временное сопротивление σ_B – не менее 490 МПа, относительное

удлинение δ – не менее 20% и относительное сужение ψ – не менее 30%, ударную вязкость по Менаже (КСУ) при +20°C – не менее 49 Дж/см² и по Шарпи (КСВ) при -40°C – не менее 16,7 Дж/см². Однако рама, изготавливаемая способом фасонного литья и отвечающая требованиям ОСТ 32.183-2001 по уровню механических свойств, не обеспечивает необходимой долговечности и эксплуатационной надежности. Основной причиной разрушения рамы при эксплуатации является возникновение усталостных трещин в местах концентрации напряжений и ускоренное их развитие. По этому признаку только за период 2006-2009 гг. на железных дорогах России произошло 36 изломов боковых рам тележек грузовых вагонов [1].

Прочность боковой рамы в значительной степени зависит также от конструкции и соотношения основных размеров рамы, т.к. это определяет величину напряжений в элементах, которые наряду с литейными дефектами ответственны за уровень эксплуатационной надежности. Поэтому представляет интерес исследовать влияние соотношения размеров и геометрической конфигурации рамы на характер распределения напряжений по всему ее объему. При традиционном подходе для решения такой задачи в общем случае необходимо решить уравнения, обеспечивающие выполнение условий равновесия и совместности деформаций. Возникающая в связи с этим проблема заключается в том, что поведение системы описывается уравнениями с большим количеством неизвестных. Одним из способов устранения этой трудности является использование приближенных методов решения. В настоящее время, в связи с активным внедрением в инженерную практику вычислительной техники, наиболее эффективным приближенным методом решения прикладных задач механики является метод конечных элементов.

В работе [2] был проведен анализ напряженно-деформированного состояния боковой рамы тележки с целью выбора оптимальной конструкции верхнего и нижнего сечений рамы. Расчет выполнен с применением метода конечных элементов на основе программного комплекса SolidWorks. Однако в работе не были приведены рекомендуемые параметры экономических профилей проката для конструктивного оформления поперечных сечений верхней и нижней балки исследуемой рамы, а также не была приведена картина распределения напряжений по всему объему рамы с целью выявления очагов с концентрацией напряжений.

В данной работе сделана попытка восполнить эти недостатки и рассмотреть напряженно-деформированное состояние нагруженной боковой рамы тележки по всему ее объему. Для этой цели была разработана конечно-элементная модель рамы на основе программного комплекса САПР T-Flex, позволяющего решать задачи параметрического трехмерного моделирования и конечно-элементных расчетов сложных конструкций. Трехмерная модель расчетной конструкции боковой рамы (рисунок 1) создана в модуле «T-Flex CAD». Модель в точности копирует реальную конструкцию рамы.

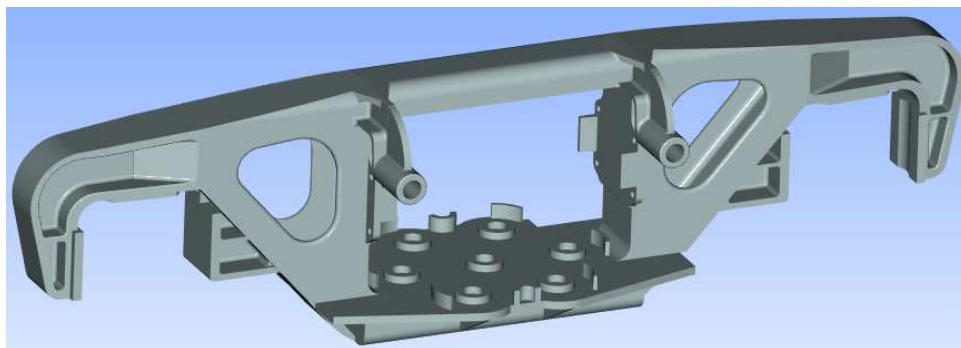


Рис. 1. Модель рамы

Для создания физической модели секции става конвейера всем элементам конструкции присвоены реальные физико-механические свойства в соответствии с применяемыми материалами (рисунок 2, таблица 1).

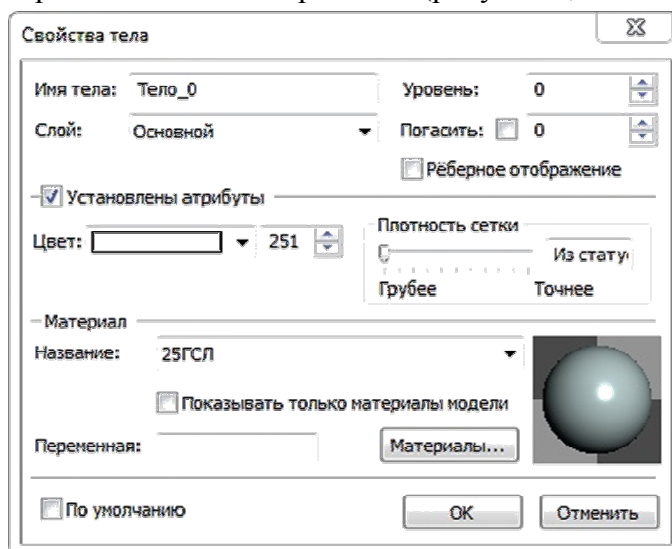


Рис. 2. Присвоение свойств материалов конструкции

Табл. 1. Свойства материала

№	Свойства материала	Значение	Размерность
1	Плотность	7.85e-006	кг/мм ³
2	Предел прочности на разрыв	490	Н/мм ²
3	Предел прочности на сжатие	490	Н/мм ²
4	Предел текучести	294	Н/мм ²
5	Удельная теплоемкость	496	Дж/(кг·град)
6	Материал	Изотропный	
7	Модуль упругости	204000	Н/мм ²
8	Коэффициент Пуассона	0,3	
9	Модуль сдвига	–	Н/мм ²
10	Коэффициент линейного расширения	0,000012	1/град

Конечно-элементная модель рамы показана на рисунке 3, она характеризуется следующими параметрами: тип КЭ-10-ти узловой тетраэдр; размер сетки относительный – 0,2; радиус улучшения – 5; плавность перехода – 1; величина прогиба – 0,15; сглаживание сетки – 3; включена обработка мелких деталей.

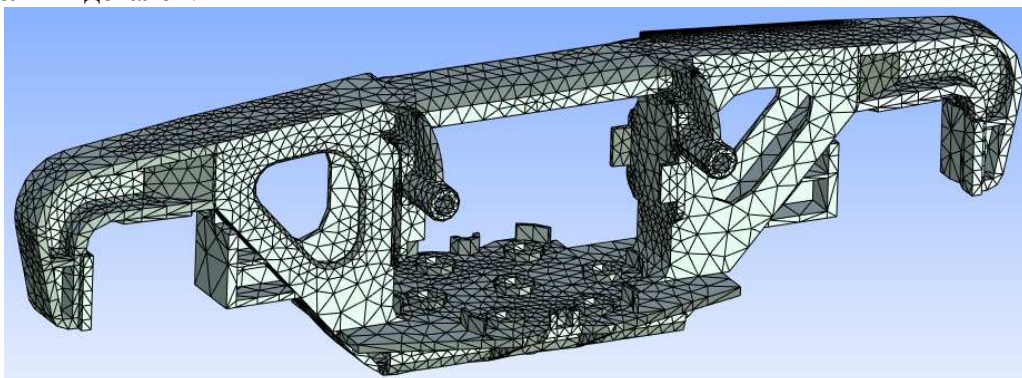


Рис. 3. Конечно-элементная модель

Для последующего выполнения расчета НДС конструкции в соответствии с реальными условиями эксплуатации заданы граничные условия, представляющие собой закрепления конструкции. Условия закрепления рассматриваемой модели рамы идентичны реальным условиям ее работы в конструкции вагонной тележки: рама опирается на буксы, в которых вращаются оси колес. Именно эти узлы конечно-элементной модели и были закреплены.

В соответствии с реальными условиями эксплуатации боковая рама тележки нагружалась на нижнюю опорную поверхность, на которую опиралась пружина, воспринимающая вес нагруженного вагона, как это показано на рисунке 4.

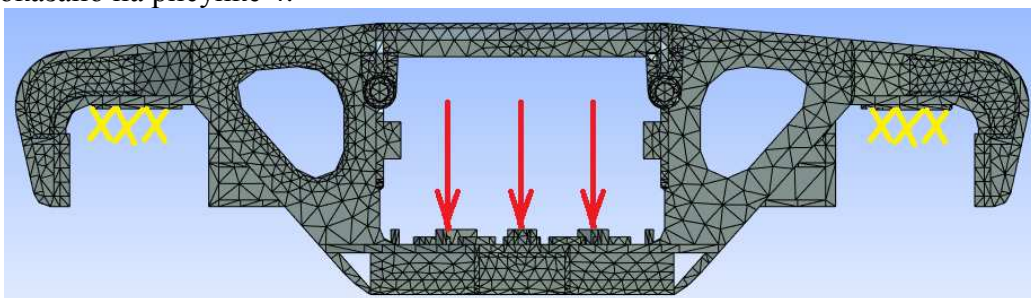


Рис. 4. Расчетная модель

Процедура решения системы линейных алгебраических уравнений, согласно МКЭ, осуществляется итерационным способом. Результатами расчета являются перемещения, напряжения и коэффициенты запаса прочности конструкции, определяемые с целью проверки принятых конструкторских решений на условие прочности.

Характер распределения напряжений в раме приведен на рисунке 5.

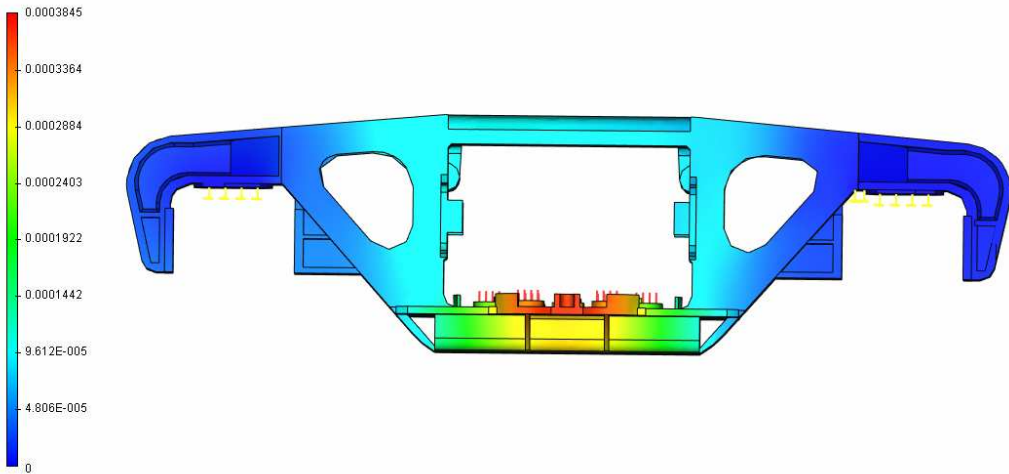


Рис. 5. Картина распределения напряжений

Наибольшее напряжение и деформации при данной схеме нагружения боковой рамы вагонной тележки, как показывают расчеты, приходится как раз на опорную поверхность нижней балки рамы. Наблюдается значительная концентрация напряжений, вызванных отверстиями для направляющих опорных пружин.

Картина распределения коэффициента запаса прочности по эквивалентным напряжениям представлена на рисунке 6. Как видно из рисунка, конструкция рамы в целом приближается к условию равнопрочности отдельных частей рамы.

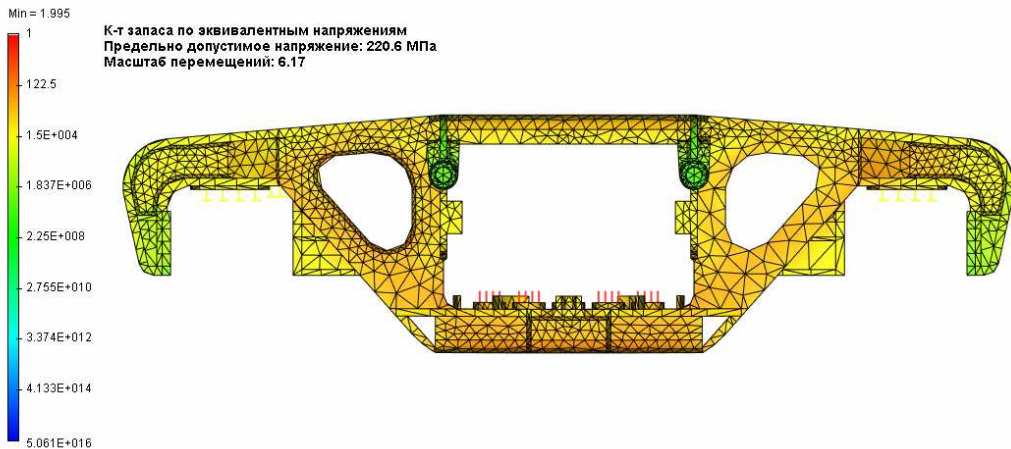


Рис. 6. Оценка коэффициента запаса прочности

На основании проведенного исследования напряженно-деформированного состояния боковой рамы вагонной тележки в условиях реальной эксплуатации можно сделать вывод, что разработанная конечно-элементная модель рамы позволяют выполнить оптимизацию ее

конструктивных элементов, которые позволят значительно улучшить срок службы и безопасность рассматриваемой конструкции.

Полученная фоновая анимация процесса деформирования расчетной модели боковой рамы, позволила сделать вывод о том, что наиболее значительная деформация имеет место на нижней опорной балке рамы. Можно рекомендовать увеличение размеров по высоте этой балки для усиления конструкции и выравнивания напряжений в теле рамы.

Итоговые рекомендации:

- 1) исключить отверстия на опорной поверхности нижней балки рамы;
- 2) увеличить толщину нижней опорной балки рамы;
- 3) увеличить жесткость рамы.

Список литературы

1. Брак без расчета // Гудок (ежедневная транспортная газета). – 2010. – №44(24523). – 5 с.
2. Ильиных Р.А., Богатов А.А. Зависимость массы боковой рамы тележки грузового вагона от различных схем нагружения // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: материалы 6-й международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф. Головина». – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. – С. 642-644.

References

1. Marriage without calculation // Beep (daily transport newspaper). – 2010. – №44(24523). – 5 p.
2. Pyinykh R.A., Bogatov A.A. Dependence of the weight of the side frame of a freight car truck on various loading schemes // Innovative technologies in metallurgy and mechanical engineering: materials of the 6th international youth scientific and practical conference "Innovative technologies in metallurgy and mechanical engineering. Ural scientific and pedagogical school named after Professor A F. Golovin". – Ekaterinburg: Publishing house Ural. UN-TA, 2012. – P. 642-644.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Горелов Валерий Николаевич – к.т.н.,
доцент, кафедра механики и машиностроения,
Сибирский государственный индустриальный
университет, г.Новокузнецк, Россия,
gorelov_vn@mail.ru

Gorelov Valeriy Nikolaevich – candidate of
technical sciences, associate professor,
department of mechanic and engineering,
Siberian state industrial university,
Novokuznetsk, Russia, gorelov_vn@mail.ru

Получена 28.03.2019