



ОЦЕНКА СРЕДНИХ НАПРЯЖЕНИЙ ЦИКЛА В НЕСУЩИХ РАМАХ ТЕПЛОВЗОВ НА ОСНОВЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО РАСЧЕТА ОТ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

**Хамидов О.Р¹, Юсуфов А.М², Кудратов Ш.И³
Абдурасулов А.М⁴, Азимов С.М⁵**

¹ д.т.н., заведующий кафедрой «Локомотивы и локомотивное хозяйство»
Ташкентского Государственного Транспортного Университета
^{2,3} докторант PhD кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство»
Ташкентского Государственного Транспортного Университета
^{4,5} ассистент кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство»
Ташкентского Государственного Транспортного Университета

Abstract

Для оценки сопротивления усталости необходимо выполнить расчет напряженного деформированного состояния (НДС) объекта от статических нагрузок, имитирующих его рабочее состояние. Такой расчет позволит выбрать наиболее опасные зоны и напряжения в них. Полученные статические напряжения представляют собой средние напряжения цикла, учитывающего также догрузку рассматриваемого узла динамическими составляющими, в частности, от движения по неровностям пути.

Key words: рама, сила, диагностика, НДС, МКЭ.

Введение

Методы оценки НДС, применяемые при расчете несущих конструкций, можно условно разделить на две группы:

- методы, построенные на теории расчета стержней, которые развиваются в науке о сопротивлении материалов и строительной механике сложных стержневых объектов;
- дискретные методы расчета, базирующиеся на понятиях теории упругости; к таким методам относятся: популярный сегодня метод конечных элементов (МКЭ), метод конечных разностей (МКР) и метод граничных интегральных уравнений (МГИУ).

Все существующие программные комплексы, использующие метод конечных элементов, условно можно разделить на две группы:

1. Программы, встраиваемые в пакеты САПР, предназначенные для быстрого расчета CAD моделей непосредственно в среде их разработки. К этим программам следует отнести DesignSpace фирмы ANSYS Corporation, MSC/InCheck фирмы MSC, SolidWorks фирмы SolidWorks Corporation, а также встроенные в UniGraphics расчетные модули UG/Scenario for Structure, UG/Scenario for Motion, UG/Master БЕМ фирмы EDS, UG/Strength Wizard.

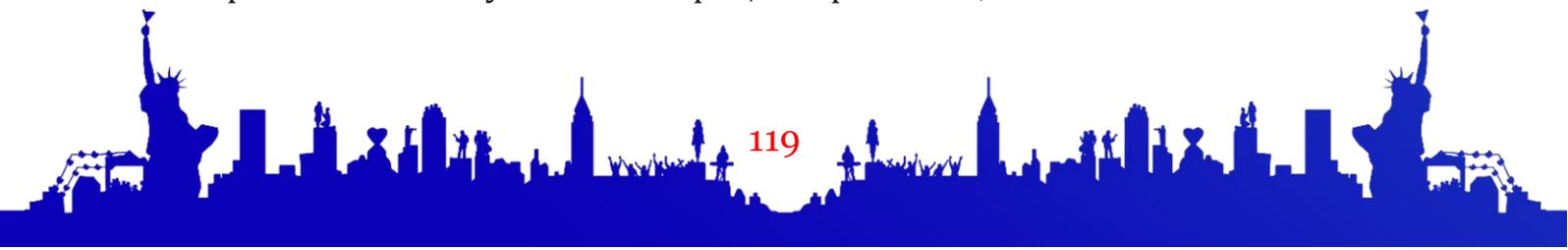




2. Программы, предназначенные для создания полноценной конечно-элементной модели, учитывающей особенности геометрических размеров, силовых факторов и др. К таким программам следует относить ANSYS фирмы ANSYS Corporation, DesignWorks фирмы CADSL H, Cosmos/DesignStar фирмы Structural Research & Analysis Corporation, MSC Nastran for Windows и практически всю линейку программных продуктов MSC и др. [1-3]

В расчетах принимается и реализуются следующие положения:

- деформации – упругие малые;
- граничные условия не изменяются в процессе нагружения;
- производится дискретизация объема, занимаемого телом, на элементарные области. В нашем случае – это тетраэдры с гранями, аппроксимируемыми линейными или параболическими функциями координат. Полученные области носят названия «конечные элементы»;
- узлы, в которых задаются либо вычисляются перемещения или усилия, располагаются: в параболических конечных элементах - около середин сторон, в линейных – в вершинах;
- применительно к рассматриваемой задаче, степенями свободы будут являться перемещения в направлении осей некоторой системы координат. Стоит отметить, что она общая для всех узлов конструкции;
- перемещения элемента первого типа аппроксимируются линейной функцией, элемент второго типа – параболической. Для изопараметрических функций форма конечных элементов аппроксимируется этими же функциями;
- в результате воздействия нагрузок и учета граничных условий тело деформируется. Если нагрузки заданы как распределенные, то они программно приводятся к сосредоточенным в узлах;
- матрица жесткости (матрица реакций) вычисляется для каждого конечного элемента.
- столбец усилий в узлах получается путем умножения матрицы жесткости на столбец перемещений в узлах элемента;
- модуль упругости и коэффициент Пуассона материалов входят в формулы для расчетов компонентов матриц жесткости конечных элементов;
- глобальную матрицу жесткости $[K]$ получают путем объединения матриц жесткости конечных элементов; матрица жесткости $[K]$ имеет подавляющее количество заведомо нулевых элементов, большинство которых остаются нулевыми в процессе решения;





– в результате образуется следующая система линейных уравнений, в которой неизвестными являются перемещения (как линейные, так и угловые):

$$[K][p]=[Δ]$$

– данное уравнение выражает условие минимума потенциальной энергии деформированной упругой системы;

– система уравнений решается с вычислением вектора перемещений $[Δ]$;

– на основе полученных перемещений в узлах и аппроксимирующих функций рассчитываются деформации для каждого конечного элемента. У линейных элементов деформации в пределах элементов постоянные, у параболических – изменяющиеся линейно;

– напряжения в элементах вычисляются по их деформациям. При необходимости напряжения в узлах смежных элементах усредняются с последующим пересчетом напряжений в пределах каждого элемента;

– эквивалентные напряжения вычисляются по компонентам напряженного состояния. [5-8]

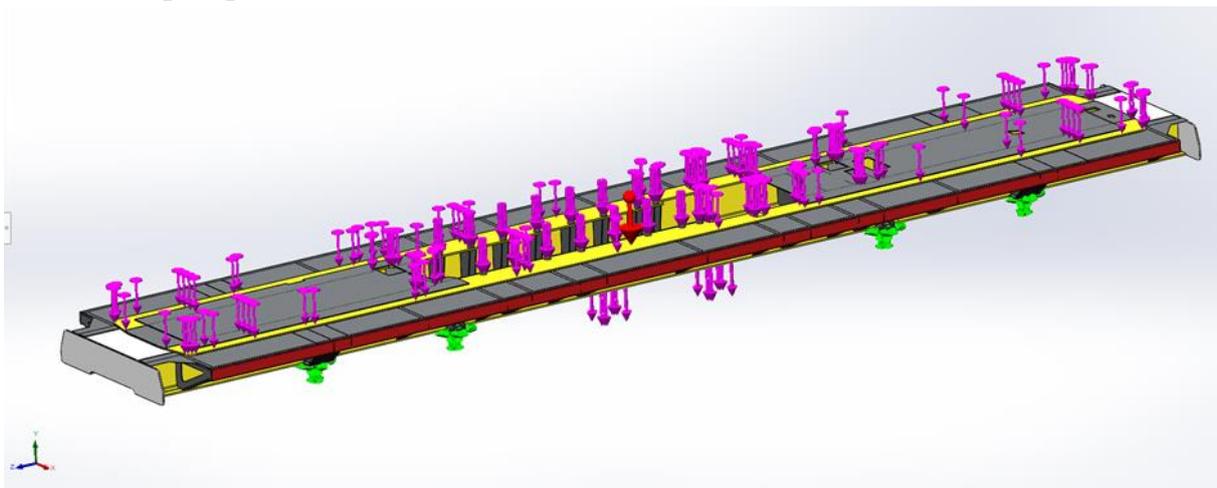
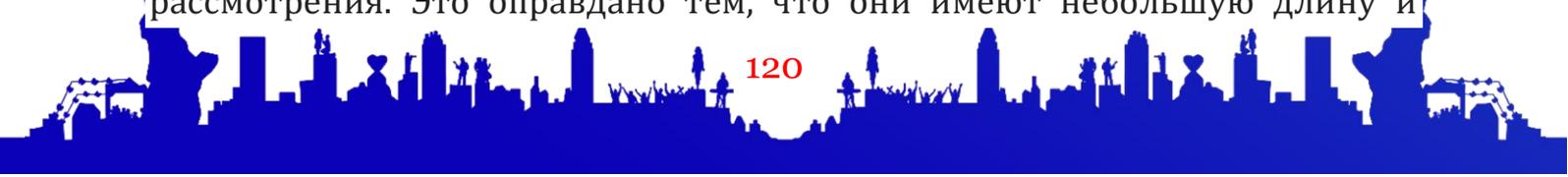


Рисунок 1 – Расчетная схема рамы тепловоза ТЭМ2

Подготовка исходных данных для выполнения статического расчета

Как известно, достоверность расчета во многом зависит от выбора схемы приложения нагрузок, мест закрепления, а также уровня нагрузок, прикладываемых в зонах приложения сил, воздействующих на рассматриваемый объект. В нашем случае нагрузки определяются массой подрессоренных частей, при этом зоны приложения вертикальных сил совпадают с опорами пружин рессорного подвешивания на кронштейны. Для оценки местных напряжений в зонах установки опорных кронштейнов принималось, что поверхность пола неподвижна. Изгибающие формы деформации продольных балок рамы в этом случае исключаются из рассмотрения. Это оправдано тем, что они имеют небольшую длину и





высокие поперечные сечения (т.е. значительные характеристики жесткости при изгибе).

Расчет начинается с выбора расчетной схемы конструкции. Расчетная схема должна отражать основные особенности конструкции, которые оказывают основное влияние на ее поведение под нагрузкой. На расчетной схеме должны быть обозначены зоны приложения нагрузки, должен быть определен ее уровень. Иными словами, расчетная схема представляет собой идеализированный объект, в котором не учитываются малозначительные, с точки зрения влияния на напряженно деформированное состояние, фрагменты конструкции. На рисунке 3.1 приводится вид такой расчетной схемы рамы тепловоза ТЭМ2. Как было сказано выше, расчеты направлены на определение характера распределения напряжения от вертикальных нагрузок, поскольку на основе их будет определяться динамические догрузки, и в конечном счете будет оценена усталостная прочность.

При расчете методом конечных элементов объемного тела необходимо смоделировать пространственную геометрическую модель. Моделирование проводилось с помощью названного выше программного продукта SolidWorks. [9]

Рама тепловоза представляет собой сварную конструкцию, состоящую из листов металла различной толщины, с приваренными к ним кронштейнами для передачи вертикальных усилий.

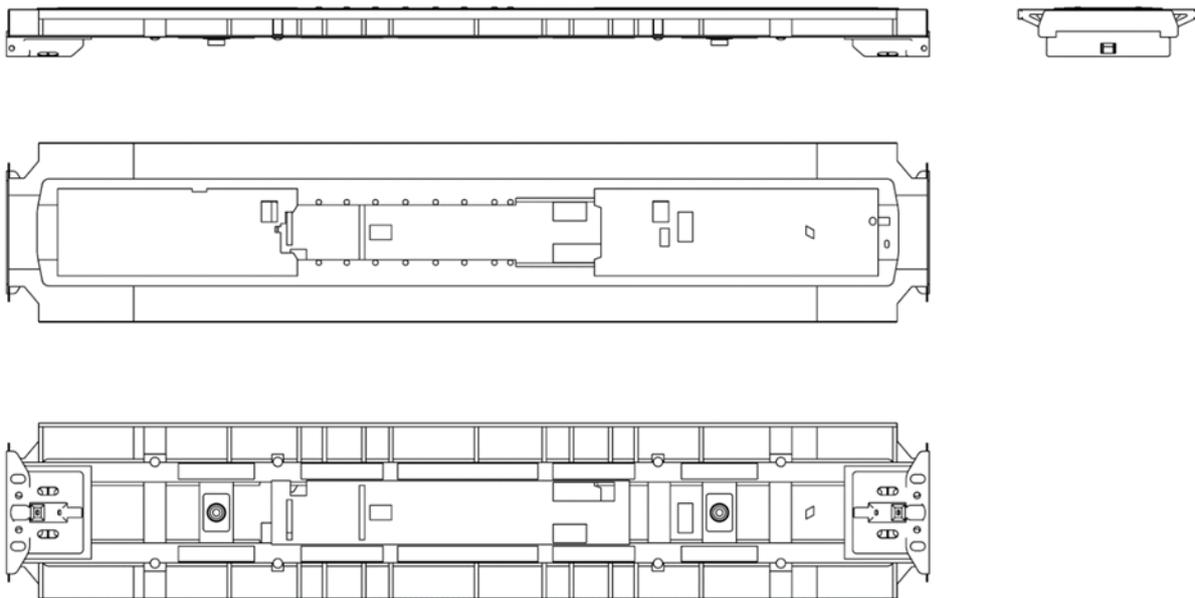


Рисунок 2 – Общий вид рамы тепловоза ТЭМ2

При обследовании конструкции рамы было определено, что детали рамы изготовлены из стали марки Ст3, механические свойства которой представлены в Таблице 1.





Таблица 1 – Механические свойства стали марки Ст.3

Марка стали	Предел текучести, σ_t (МПа)	Временное сопротивление, σ_b (МПа)
Ст3	235	470

Моделирование САД модели заключалось в представлении реальной конструкции объемными элементами различной формы. На основе полученных данных была построена трехмерная модель рамы тепловоза, показанная на рисунке 3.

Расчетной модели с использованием размерных данные реальных конструкций не учитывались малосущественные, с точки зрения влияния на напряженно деформированное состояние, фрагменты конструкции, а именно:

- не были детально рассмотрены и построены элементы конструкции для установки поглощающего аппарата;
- при построении листа пола, не учитывались технологические отверстия, предназначенные для элементов конструкции тормозной магистрали;
- не учитывались элементы креплений оборудования (дизель, гидропередача и т.д.) к раме. [9-12]

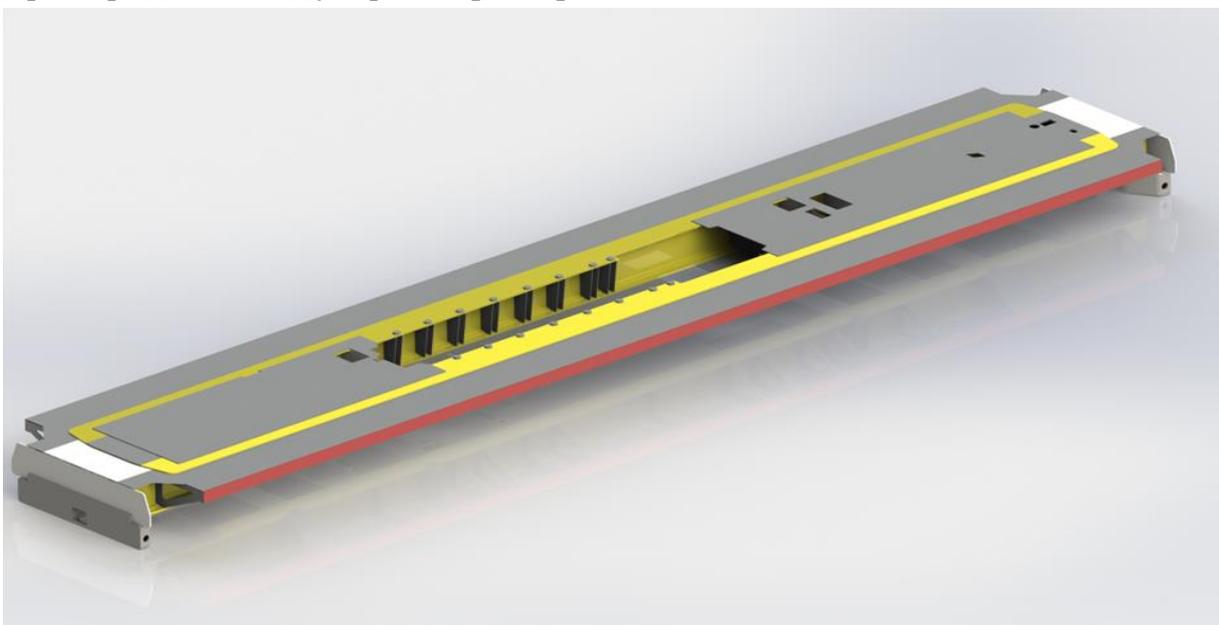


Рисунок 3 – Трехмерная модель рамы тепловоза ТЭМ2

Выводы:

Подвижной состав железных дорог конструируется в основном с учетом нагрузок, соответствующих правилам эксплуатации (эксплуатационные нагрузки). Развитие высокоскоростного движения,





проблема сохранности грузов приводят к необходимости разработки и применения новых подходов и критериев для проектирования подвижного состава с обеспечением безопасности его эксплуатации. С этой целью создают современные ударно-цепные приборы с эффективными устройствами для поглощения энергии, конструкции снабжают средствами для смягчения динамических нагрузок при соударениях, включая деформируемые элементы в торцах подвижного состава. При этом наряду с обеспечением защиты конструкции и грузов существенную роль играют снижение стоимости и ремонта и повышение эксплуатационной готовности подвижного состава.

Использованная литература:

1. Неразрушающий контроль технического состояния горных машин и оборудования: учеб. пособие / Н.А. Баркова, Ю.С. Дорошев. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009. – 157с.
2. Диагностика асинхронного электропривода по данным измерений рабочего режима/ Сивокобыленко В.Ф. Полковниченко Д.В., Кукуй К.А. – Донецкий национальный технический университет:.
3. Оптимизация методов диагностики подшипников качения по высокочастотной вибрации: "Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования". Выпуск 15. / Н.А. Баркова. - Ассоциация ВАСТ, 2002.
4. Хамидов О. Р. Вибродиагностика повреждения подшипников качения локомотивных асинхронных электродвигателей / О. Р. Хамидов, А. В. Грищенко // VIII Междунар. науч.-технич. конференция «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 3-7 июля. – СПб.: ПГУПС, 2013.- С. 174-176.
5. Грищенко А. В. Новые электрические машины локомотивов: учеб. пособие для вузов ж. д. транспорта / А. В. Грищенко, Е.В. Козаченко. - М.: Учеб. метод. по образованию на ж. д. транспорте, 2008. – 271 с.
6. Хамидов О.Р. Разработка методики комплексного диагностирования асинхронного тягового электродвигателя подвижного состава железнодорожного транспорта/ О.Т.Касымов/ Международная научная конференция «Высокие технологии и инновации в науке» - СПб.:2017. – С. 67-76.
7. Хамидов О.Р. Оценка технического состояния асинхронных тяговых электродвигателей электровазозов серии «UZ-EL» средствами вибродиагностики / О.Т. Касымов // Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие», сентябрь – 2017, С. 13-19.





8. Агунов А. В. Использование нейро-нечетких диагностических моделей при оценке технического состояния электрооборудования тепловоза / А. В. Агунов, А. В. Грищенко, В. А. Кручек, В. В. Грачев // Электротехника. – 2017. – № 10. – С. 14 – 18.
9. Юсуфов А.М. Оценка остаточного ресурса главных рам маневровых тепловозов / Хамидов О.Р/ UNIVERSUM научный журнал Москва 2022 59-63 стр.
10. Хамидов О. Р. Математическая модель вибровозмущающих сил локомотивного асинхронного электродвигателя / О. Р. Хамидов, М. Н. Панченко // Изв. Петерб. ун-та путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2013. - № 4(37). - С. 60-67.
11. Грищенко А. В. Аппарат искусственных нейронных сетей для диагностики современного локомотива / А. В. Грищенко, В. В. Грачёв, Ю. В. Бабков, Ю. И. Клименко, С.И. Ким, К.С. Перфильев, М.В. Федотов // Локомотив. - 2012. - № 7. – С. 36-40.
12. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ГЛАВНОЙ РАМЫ И ПРОДЛЕНИЕ СРОКОВ СЛУЖБЫ МАНЕВРОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ НА АО “УТЙ” // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. Хамидов О.Р. [и др.]. 2022. 4(97).

