

УДК 629.4.023

**Х. Р. Косимов**Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I**АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ РАМЫ ТЕПЛОВОЗА UZTE16M  
И ОЦЕНКА ЕЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА**

Проблема оценки возможного продления ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава после выработки ими назначенного ресурса на Узбекской железной дороге возникла в последние годы в связи с увеличивающейся потребностью в железнодорожных перевозках. Увеличение скорости движения на железнодорожном транспорте и массы поездов ведут к росту динамических воздействий на ходовую часть и выдвигают повышенные требования для несущих конструкций подвижного состава, в частности, для рам тепловоза. Статья посвящена моделированию и анализу напряженно-деформированного состояния рамы тепловоза.

подвижной состав, рама тепловоза, срок службы, несущие конструкции, прочность.

**Введение**

Основной задачей железнодорожного транспорта любой страны является полное удовлетворение ее потребности в перевозках народно-хозяйственных грузов и пассажиров. Увеличение скоростей движения на железнодорожном транспорте, массы поездов и грузоподъемности ведут к росту динамических воздействий на ходовую часть и выдвигают повышенные требования к несущим конструкциям подвижного состава, в частности, к рамам тепловоза [1]. Проблема оценки остаточного ресурса несущих конструкций после выработки ими назначенного ресурса возникла в последние годы в связи с продлением срока службы подвижного состава [2]. Она потребовала нового подхода к ее решению, в частности, исследования механических и усталостных характеристик материала несущих конструкций и сопротивления усталости самих деталей после их длительной эксплуатации, обоснования влияния экстремальных условий нагружения, физического состояния деталей на их напряженное состояние, а также поиска альтернативного метода оценки их остаточного ресурса.

В сложившейся ситуации, когда потребности дорог в обновлении локомотивного парка ограничиваются их финансовыми возможностями, значительно возрастает роль ремонта и модернизации как способа поддержания тяговой техники в работоспособном состоянии.

Решить проблему можно не только постепенным обновлением парка за счет поставок новых локомотивов, но и продлением срока службы части парка с помощью капитальных ремонтов, в том числе с модернизацией [3].

Наш расчет выполнен с целью оценки прочности рамы тепловоза UzTE16M, предъявляемого на продление срока службы, с учетом возможных наихудших параметров технического состояния, определенных при техническом диагностировании. Расчет проведен в соответствии с «Нормами для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм [4]. Прочность рамы в соответствии с «Нормами...» оценивается при I и II режиме:

- I – условный режим безопасности; учитывает возможность возникновения значительных продольных сил, обусловленных

маневровой работой, транспортировкой и аварийными соударениями;

- II – эксплуатационный режим; учитывает силы, действующие на кузов при разгоне поезда до конструкционной скорости, движении на выбеге или торможении с этой скорости при прохождении кривой.

## 1 Исходные данные для расчета

Схема нагружения рамы тепловоза UzTE16M и расчетная схема нагрузок, действующих на раму, приведены в [5].

Толщина элементов принимается с учетом возможных наихудших параметров технического состояния, определенных при техническом диагностировании.

Элементы рамы изготовлены из стали 09Г2С с пределом текучести  $[\sigma]_T = 295$  МПа [4].

Допустимые напряжения для I режима определяются согласно [4]:  $[\sigma]_I = 0,9 [\sigma]_T = 265,5$  МПа.

Для второго расчетного режима допустимые напряжения принимаются равными 190 МПа.

## 2 Расчетная схема рамы и принятые допущения

В соответствии с рекомендациями «Норм...» расчет производится методом конечных элементов с использованием известного конечно-элементного пакета ANSYS Workbench версии 12.1. Элементы рамы имитировались объемными квадратичными конечными элементами с тремя степенями свободы в каждом узле [6].

Кузов тепловоза и размещенное на нем оборудование моделировались точечными массами с соответствующими характеристиками.

Конечно-элементная модель (рис. 1) включает 116 060 элементов и 473 945 узлов.

## 3 Расчет на прочность

Сочетание нагрузок, действующих на элементы конструкции рамы при I и II расчетном режиме, определяется в соответствии «Нормами...». При расчете по I режиму принимается следующее сочетание:

- сила тяжести рамы, кузова и оборудования;
- продольная сила инерции рамы, кузова и оборудования (определяется исходя из ускорения массы тележки вдоль оси пути, 3g);
- продольная сила, приложенная по осям автосцепки (2500 кН).

При расчете по II режиму принимается следующее сочетание нагрузок:

- сила тяжести рамы, кузова и оборудования;
- вертикальная динамическая сила от колебаний кузова на рессорном подвешивании (определяется умножением силы тяжести кузова на коэффициент вертикальной динамики);
- вертикальная составляющая продольной силы инерции кузова;
- центробежная сила;
- сила давления ветра;
- продольная сила инерции рамы, кузова и оборудования;
- продольная сила, приложенная к хвостовой автосцепке локомотива.

Коэффициент вертикальной динамики в соответствии с «Нормами...» определяется по формуле

$$K_D = \left( \frac{0,006}{f_{ст}} - 0,004 \right) \sqrt{V}, \quad (1)$$

где  $V$  – конструкционная скорость движения, м/с;  $f_{ст}$  – статический прогиб подвешивания, м.

Вертикальная составляющая (добавка) на кузов от продольной силы инерции определяется по формуле

$$\Delta P = P_{ИК} \cdot \frac{h_K}{2L}, \quad (2)$$

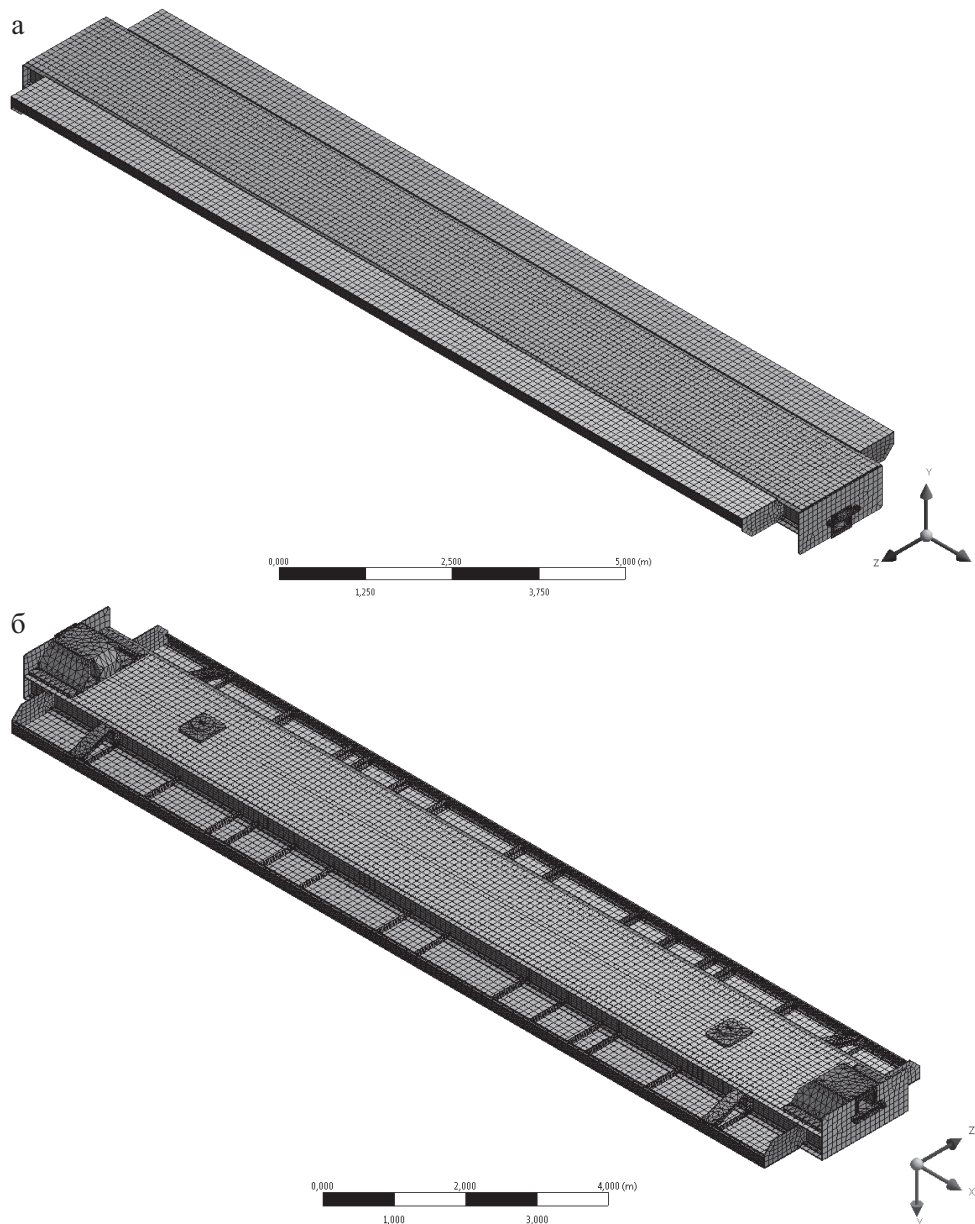


Рис. 1. Конечно-элементная модель рамы:  
а) вид сверху; б) вид снизу

где  $P_{ик}$  – сила инерции кузова брутто;  $h_k$  – расстояние от центра тяжести кузова до плоскости опор на тележку;  $2L$  – база кузова.

Центробежная сила определяется отдельно для кузова исходя из непогашенного ускорения  $0,7 \text{ м/с}^2$  [4]. Равнодействующая центробежной силы прикладывается в центре тяжести кузова.

Сила давления ветра определяется из расчета удельного давления ветра, равного  $500 \text{ Н/м}^2$ , на боковую проекцию кузова [4]. Равнодействующая боковой силы прикладывается к центру площади боковой проекции кузова.

Силы инерции, действующие на отдельные узлы и элементы локомотива, приклады-

ваются в центрах тяжести их масс и определяются по формуле

$$P_{ni} = F_A \cdot \frac{m_i}{M}, \quad (3)$$

где  $F_A$  – продольная сила;  $m_i$  – масса узла или элемента экипажа;  $M$  – масса локомотива.

Продольная сила, приложенная по осям автосцепки, согласно «Нормам...» составляет 700 кН.

Были получены напряжения, возникающие в элементах конструкции рамы при I и II расчетных режимах [4]. Их максимальные эквивалентные напряжения представлены в табл. 1, распределение эквивалентных напряжений – на рис. 2.

#### 4 Оценка сопротивления усталости

Для увеличенного суммарного срока службы рамы  $Tr = 35$  лет согласно «Нормам...» проведена оценка усталостной прочности по коэффициенту запаса сопротивления усталости:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K\sigma_v + \psi\sigma_m} \geq [n], \quad (4)$$

где  $n$ ,  $[n]$  – расчетное и допустимое значения коэффициента запаса сопротивления усталости, соответственно;  $\sigma_{-1}$  – предел выносливости гладкого стандартного образца из стали

09 Г2 С (принят 210 МПа);  $\sigma_v$  – амплитуда напряжений цикла (переменная составляющая при движении с конструкционной скоростью, находится как сумма напряжений от веса брутто, умноженных на коэффициент динамики и напряжений от сил инерции продольной динамики);  $\sigma_m$  – среднее напряжение цикла (напряжения от веса брутто);  $\psi$  – коэффициент, характеризующий чувствительность металла к асимметрии цикла, для растянутых волокон принят равным 0,3;  $K$  – коэффициент концентрации, учитывающий понижение сопротивления усталости, определяется по формуле

$$K = \beta_K \frac{k_1 \cdot k_2}{\gamma \cdot m}, \quad (5)$$

где  $\beta_K$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений, учитывающий форму детали,  $\beta_K = 1$ ;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий неоднородность материала детали,  $k_1 = 1,1$ ;  $k_2$  – коэффициент, учитывающий внутренние напряжения в детали,  $k_2 = 1,05$ ;  $\gamma$  – коэффициент, учитывающий влияние абсолютных размеров,  $\gamma = 0,7$ ;  $m$  – коэффициент, учитывающий состояние поверхности детали,  $m = 0,8$ .

Таким образом, коэффициент концентрации  $K = 2,06$ .

Результаты расчета приведены в табл. 2.

Допустимый коэффициент запаса сопротивления усталости принимался  $[n] = 2$ . Усло-

ТАБЛИЦА 1. Максимальные напряжения в элементах конструкции рамы

Элемент	Максимальные эквивалентные напряжения, МПа	
	I режим	II режим
Хребтовая балка в центральной части	39	79
Хребтовая балка в консольной части	175	69
Шкворневая балка в зоне соединения с хребтовой	197	146
Промежуточная балка	100	52
Лобовая балка	148	15

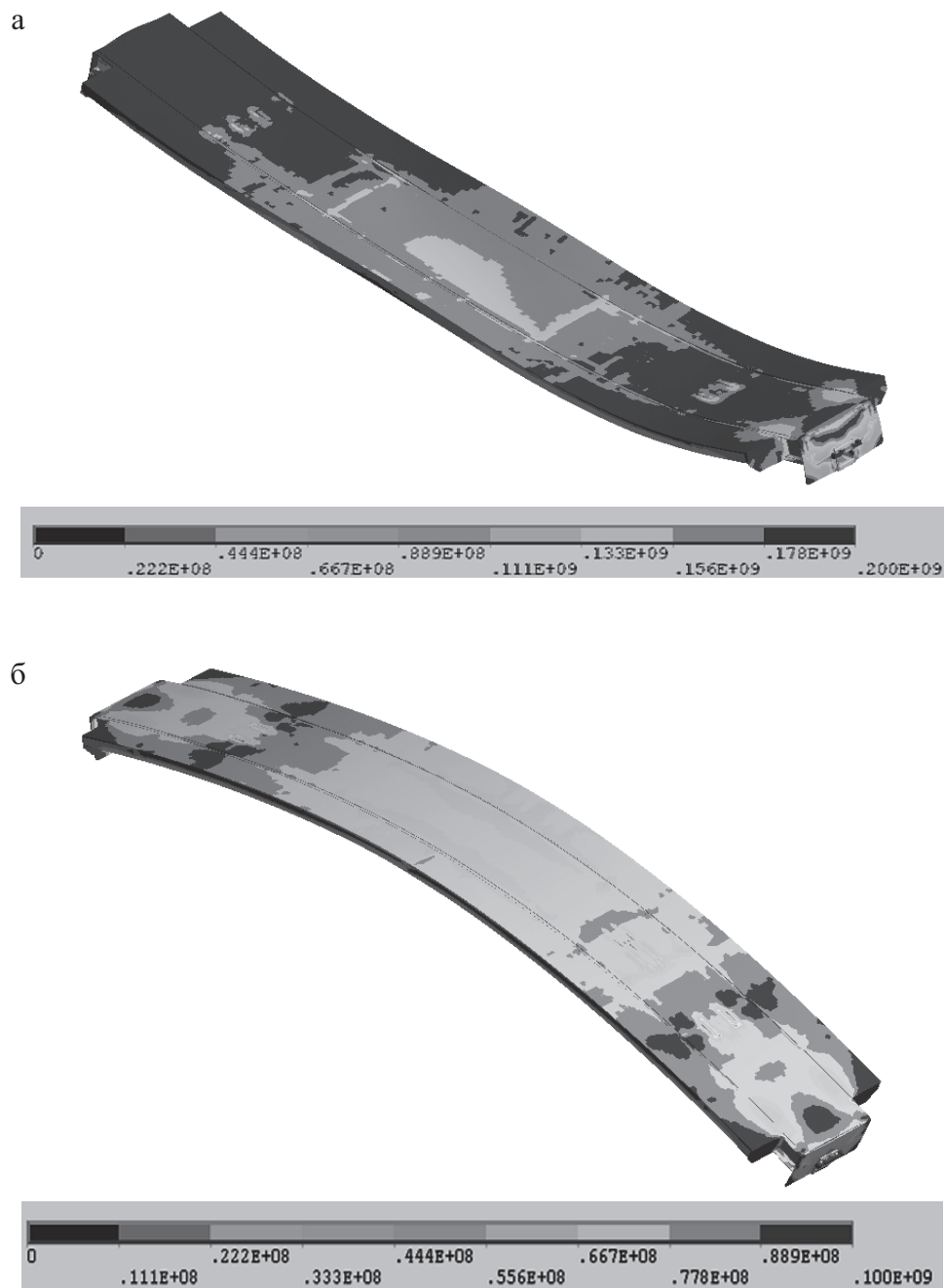


Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений, Па:  
а) при I режиме; б) при II режиме

ТАБЛИЦА 2. Результаты расчета усталостной прочности

Зона	Шкворневая балка в зоне соединения с хребтовой	Хребтовая балка в центральной части	Лобовая балка
$\sigma_v$	29	23	33
$\sigma_m$	52	41	10
n	2,8	3,5	3,0

вие прочности  $n \geq [n]$  выполнялось для всех зон.

Прочность рамы тепловоза UzTE16M обеспечена на расчетный суммарный срок службы с учетом срока продления 35 лет.

### Заключение

Проведен расчет на прочность рамы тепловоза UzTE16M, предъявляемого на продление срока службы, с учетом возможных наихудших параметров технического состояния, определенных при техническом диагностировании.

Также оценена усталостная прочность на суммарный срок службы с учетом срока продления 35 лет.

По результатам расчетов на прочность можно сделать вывод, что прочность рамы тепловоза UzTE16M, предъявляемого на продление срока службы, с учетом возможных наихудших параметров технического состояния, определенных при техническом диагностировании, удовлетворяет требованиям «Норм...». Расчет сопротивления усталости показал, что усталостная прочность рамы тепловоза UzTE16M обеспечена на 35 лет.

### Библиографический список

1. **Оценка** остаточного ресурса рам тележек тепловозов : дисс. ... канд. техн. наук / Н. С. Зайнидинов. – Санкт-Петербург, 2010. – 164 с.
2. **Тепловоз 2 ТЭ116** / С. П. Филонов, А. И. Гибалов. – Москва, 1985. – 328 с.
3. **Разработка** технологий освидетельствования и восстановления рам тепловоза серии UzTE16M для продления срока их службы : отчет по науч.-исследоват. работе. – Ташкент : ТашиИИТ, 2007. – 67 с.
4. **Теория** и конструкция локомотивов / В. А. Симонов ; под ред. Г. С. Михальченко. – Москва : Маршрут, 2006. – 584 с.
4. **Нормы** для расчета и оценка прочности несущих элементов динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – Москва : ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.
5. **Исследование** напряженно-деформированного состояния рамы тепловоза UzTE16M / В. А. Кручек, Х. Р. Косимов // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2013. – Вып. 4 (37). – С. 36–43.
6. **ANSIS** в руках инженера : практич. руководство. – Москва : Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.