

# Расчетное обоснование назначенного срока службы чистовой оси колесной пары грузового вагона

**А.М. Орлова,**

д.т.н., заместитель генерального директора по науке и продукту ПАО «НПК ОВК»

**В.С. Бабанин,**

директор дирекции проектирования ходовых частей ООО «ВНИЦТТ»

**И.В. Турутин,**

руководитель группы разработки литых деталей и расчетов прочности ООО «ВНИЦТТ»

В соответствии с пунктом 3 V раздела технического регламента [1] безопасность железнодорожного подвижного состава и его составных частей должна обеспечиваться в том числе и путем установления назначенных сроков службы. До настоящего момента оси колесных пар не имеют такого параметра. В статье предлагается метод определения назначенного срока службы чистовой оси колесной пары грузового вагона по ГОСТ 33200-2014 [2]. Приводится пример расчета для оси РУ1Ш–ОС–2–ГОСТ 33200-2014. Предложенный метод расчета может быть взят за основу при назначении срока службы чистовой оси колесной пары по техническому регламенту ТР ТС 001/2011 [1].

## Введение

В статье «Физический смысл и способы установления назначенного срока службы (назначенного ресурса) и предельных состояний для составных частей грузовых вагонов» [3] был предложен подход, позволяющий соблюсти требования технического регламента [1] без отклонений от действующей эксплуатационной и ремонтной документации. Также было приведено обоснование назначенного срока службы оси колесной пары как для детали, спроектированной по модели неограниченного ресурса, и предложен назначенный срок службы чистовой оси колесной пары порядка 40 лет.

Поиск аналогичных требований на зарубежных железных дорогах позволил выявить, что, в соответствии с требованиями технического обслуживания вагонов сети железных дорог Европы VPI-EMG 04 [4], не допускается формировать колесные пары на осях старше 50 лет.

В настоящей статье предложена методика по определению назначенного срока службы чистовых осей колесных пар железнодорожного подвижного состава по ГОСТ 33200-2014 [2] как продукции, спроектированной по модели с ограниченным ресурсом. В качестве примера выполнен расчет для оси РУ1Ш.

## Расчет назначенного срока службы чистовой оси

Для определения расчетной величины назначенного срока службы необходимо произвести расчет усталости оси и с учетом полученного коэффициента запаса сопротивления усталости определить срок службы, который обеспечивается конструкцией оси.

Расчет усталости в соответствии с Нормами для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [5] (далее – Нормы) п. 7.4.2 не учитывает ударных нагрузок, которые приведены в

Приложении 3 Норм. В предлагаемом методе при определении коэффициента запаса сопротивления усталости произведен учет распределения вертикальных ускорений букс исправных среднеизношенных колесных пар грузовых вагонов, приведенных в Приложении 3 Норм. В качестве примера выполнен расчет оси РУ1Ш–ОС–2–ГОСТ 33200-2014 (далее – ось РУ1Ш).

Расчет усталости выполнялся для сечений оси, изображенных на рисунке 1. Поскольку

**Табл. 1.** Исходные данные для определения коэффициентов запаса сопротивления усталости сечений оси РУ1Ш

	Наименование	Обозначение	Значение
1	Число осей в вагоне, шт.	$n_o$	4
2	Масса вагона брутто, кг	$m_{бр}$	94 000
3	Масса половины боковой рамы тележки вагона, кг	$m_p$	200
4	Масса колесной пары без букс, кг	$m_{кп}$	1 178
5	Масса буксового узла и жестко связанных с ним необрессоренных деталей, кг	$m_б$	102,5
6	Масса консольной части оси до круга катания колеса, кг	$m_{ш}$	45
7	Масса средней части оси между кругами катания колес, кг	$m_c$	312
8	Высота центра тяжести полностью загруженного вагона за вычетом веса колесных пар от уровня осей колесных пар, м	$h_k$	1,972
9	Расстояние между линиями приложения вертикальной силы к шейкам оси, м	$2l$	2,0360
10	Расстояние между кругами катания колес, м	$2s$	1,5800
11	Расстояние от линии приложения вертикальной силы к шейке оси до сечения, м: I-I II-II III-III	$l_1$	0,0780
		$l_2$	0,0900
		$l_3$	0,2280
12	Расстояние от места приложения инерционной силы к средней части оси до сечения IV-IV, м	$l_4$	0,2600
13	Расстояние от линии приложения вертикальных инерционных сил ( $P_{H_1}, P_{H_2}$ ) до середины шейки оси, соответственно для – левой стороны, м – правой стороны, м	$l_5$	0,0050
		$l_6$	0,0050
14	Расстояние от линии приложения вертикальной силы к шейке оси до сечения V-V, м	$l_7$	0,4700
15	Радиус колеса, м	$r_k$	0,4220
16	Радиус шейки оси, м	$r_{ш}$	0,0650
17	Статический прогиб рессорного подвешивания тележки, м	$f_{cm}$	0,0480
18	Коэффициент использования грузоподъемности вагона	$\lambda$	0,90
19	Диаметр оси, м: – в сечении I-I – в сечении II-II – в сечении III-III – в сечении IV-IV – в сечении V-V	$d_I$	0,1300
		$d_{II}$	0,1330
		$d_{III}$	0,1950
		$d_{IV}$	0,1720
		$d_V$	0,1740
20	Средний предел выносливости оси (по амплитуде) при установившемся режиме нагружения и круговом изгибе (симметричном цикле) на базе испытаний $N_0=10^8$ циклов, МПа: – в сечении I-I – в сечении II-II – в сечении III-III – в сечении IV-IV – в сечении V-V	$\sigma_{-1DI}$	150
		$\sigma_{-1DII}$	165
		$\sigma_{-1DIII}$	135
		$\sigma_{-1DIV}$	200
		$\sigma_{-1DV}$	190
21	Суммарное число циклов за срок службы оси (15 лет). Рассчитано по формуле Норм для условий эксплуатации, отличных от среднесетевых	$N_c$	$9,64 \cdot 10^8$

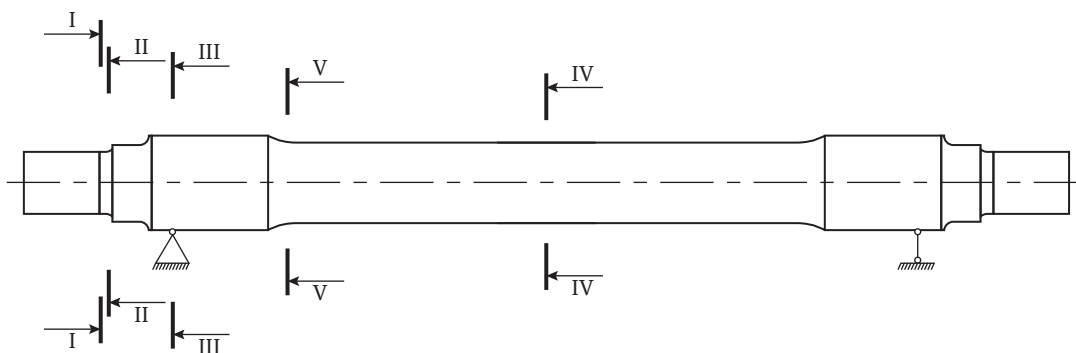


Рис. 1. Схема расчетных сечений оси РУ1Ш

ку расчет усталости оси является типовым и полностью описан в п.7.4.2 Норм, в статье приведены только исходные данные (табл. 1) и результаты расчета.

В Приложении 3 Норм приведено распределение вертикальных ускорений букс исправных среднеизношенных колесных пар. Из распределения видно, что вертикальные ускорения достигают уровня 660 м/с<sup>2</sup>.

Для учета ударных нагрузок повреждения от действия силы тяжести на вращающуюся ось (по п.7.4.2 Норм) суммированы с повреждениями от ударных нагрузок (с ускорениями по Приложению 3 Норм) по следующей формуле для каждого сечения:

$$\Sigma\sigma_{a,\text{э}} = \sqrt[m]{\sigma_{a,\text{э}}^m + \frac{N_{\text{cy}} \Sigma(P_i \cdot \sigma_{a,i}^m)}{N_0}}, \quad (1)$$

где  $m$  – показатель степени кривой выносливости,  $m = 18$ ;

$\sigma_{a,\text{э}}$  – величина амплитуды напряжения условного цикла стационарного нагружения оси при круговом изгибе, приведенного к базе  $N_0$  циклов, действие которого по накоплению повреждений эквивалентно действительному нестационарному эксплуатационному режиму за расчетный срок службы оси, соответствующая коэффициенту запаса, полученному в расчете по п.7.4.2 Норм для каждого сечения оси;

$N_{\text{cy}}$  – суммарное число циклов ударных нагрузок за срок службы оси;

$\sigma_{a,i}$  – амплитуда напряжений в расчетных сечениях оси от нагрузок по Приложению 3 Норм;

$P_i$  – вероятность возникновения амплитуды напряжений  $\sigma_{a,i}$ , принятая в соответствии с таблицей для грузовых вагонов Приложения 3 Норм.

Суммарное число циклов ударных нагрузок за срок службы оси,  $N_{\text{cy}}$ , определялось умножением пробега за срок службы оси на половину амплитуд, приходящихся на 1 км в соответствии с Приложением 3 Норм. Половина амплитуд была принята для того, чтобы можно было образовать полный симметричный цикл нагружения, когда один удар приходится в шейку оси в начальном положении, а второй удар с такой же амплитудой ускорений приходится на шейку, повернутую на 180°. При этом было принято, что за год вагон может пройти максимум 200 тыс. км (соответствует пробегу вагона на тележках 18-100 и ее аналогах), а срок службы составляет 15 лет в соответствии с ГОСТ 30237-96 [6]. В результате расчета  $N_{\text{cy}} = 1,8 \cdot 10^8$ . Амплитудное значение эквивалентных напряжений, соответствующих коэффициентам запаса, определенным в соответствии с п.7.4.2 Норм, вычислено по формуле

$$\sigma_{a,\text{э}} = \frac{\overline{\sigma_{-1D}}}{n}, \quad (2)$$

где  $\overline{\sigma_{-1D}}$  – средний предел выносливости оси (по амплитуде) при установившемся режиме нагружения для соответствующего сечения;

$n$  – коэффициент запаса усталостной прочности, определенный в согласии с п.7.4.2 Норм для соответствующего сечения.

Амплитуда напряжений в оси определялась по формуле

$$\sigma_{a,i} = \frac{M(F)}{W}, \quad (3)$$

где  $M(F)$  – изгибающие моменты в расчетных сечениях оси, зависящие от вертикальной силы  $F$ , действующей на шейку оси. При

**Табл. 2.** Результаты расчета напряжений  $\Sigma\sigma_{a,\varepsilon}$  и модифицированных коэффициентов запаса  $\Sigma n$  для различных сечений оси

Параметры	Сечения				
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V
$\Sigma\sigma_{a,\varepsilon}$ , МПа	70,5	75,7	60,9	89,4	85,7
$\overline{\sigma}_{-1D}$ , МПа	150	165	135	200	190
$\Sigma n$	2,13	2,18	2,22	2,24	2,22

**Табл. 3.** Срок службы для сечений оси РУ1Ш с учетом действия ударных нагрузок от дефектов поверхности катания

Параметры	Сечения				
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V
$T_{расч}$ , лет	45,6	69,9	96,2	112,2	96,1

этом принято, что сила F в левую и правую шейки оси действует одинаковая;

W – момент сопротивления оси в расчетном сечении.

Вертикальная сила, действующая на шейку оси, определялась по формуле

$$F = m_{но} \cdot a_i + P_{ст}, \quad (4)$$

где  $m_{но}$  – масса необрессоренных частей, опирающихся на шейку оси, включая ее собственную массу  $m_{но} = 364,8$  кг;

$a_i$  – ускорения принятые в соответствии с таблицей для грузовых вагонов Приложения 3 Норм;

$P_{ст}$  – вертикальная статическая нагрузка, приложенная к шейке оси, определена в соответствии с Нормами (табл. 7.2),  $P_{ст} = 104434$  Н;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

В результате расчетов по формулам (1–4) определены суммарные напряжения  $\Sigma\sigma_{a,\varepsilon}$ , которые при сравнении с напряжениями  $\overline{\sigma}_{-1D}$  позволили определить модифицированный коэффициент запаса усталостной прочности  $\Sigma n$ , учитывающий действие ударных нагру-

зок. Результаты расчета напряжений  $\Sigma\sigma_{a,\varepsilon}$  и коэффициентов запаса  $\Sigma n$  для каждого сечения приведены в таблице 2.

С учетом того, что кривая усталости имеет вид  $\sigma_i^m N_i = const$  во всем диапазоне долговечностей, путем соотношения рассчитанных коэффициентов запаса  $\Sigma n$  к допускаемому,  $[n] = 2,0$ , срок службы оси определен по формуле

$$T_{расч} = T_c \left( \frac{\Sigma n}{[n]} \right)^m, \quad (5)$$

где  $T_c$  – расчетный срок службы оси,  $T_c = 15$  лет. Результаты расчетов показаны в таблице 3.

Анализ результатов расчетов показал, что наименьшим сроком службы – 45,6 лет – обладает сечение в зоне выкружки перехода от шейки оси к ступице. Величина назначенного срока службы может быть принята не более наименьшего значения, полученного при расчете каждого сечения. При этом установление коэффициента запаса по сроку службы не требуется, поскольку необходимый запас учтен в расчете сопротивления усталости.

## Заключение

В статье предложен модифицированный подход по определению назначенного срока службы чистовой оси под действием циклических нагрузок от вращения и ударных нагрузок от дефектов поверхности катания.

В качестве примера выполнен расчет сопротивления усталости оси РУ1Ш–ОС–2–ГОСТ 33200-2014. Показано, что наименьшим сроком службы 45,6 лет обладает сечение в зоне перехода от шейки оси к ступице, что



**Анализ результатов расчетов показал, что наименьшим сроком службы – 45,6 лет – обладает сечение в зоне выкружки перехода от шейки оси колесной пары грузового вагона к ступице.**

позволяет установить назначенный срок службы оси не более 45 лет.

С учетом зарубежного опыта [4] по установлению предельного срока эксплуатации оси колесной пары в 50 лет данный показатель может быть уточнен с использованием статистической информации по выбытию осей РУ1Ш из эксплуатации.

#### Список использованной литературы

1. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава» (ТР ТС 001/2011).
2. ГОСТ 33200-2014 Оси колесных пар железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия.
3. Орлова А.М., Семенов Е.Ю., Гаврилов С.С. Физический смысл и способы установления назначенного срока службы (назначенного ресурса) и предельных состояний для составных частей грузовых вагонов. Техника железных дорог. 2020. № 3(51) С. 48–55.
4. VPI-EMG 04 Maintenance of Wagons. Wheelsets. Edition 4.01. 10.09.2020.
5. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм(несамоходных). ГосНИИВ–ВНИИЖТ.М., 1996. 317 с.
6. ГОСТ 30237-96 Оси чистовые для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия. §