

УДК 629.4.027.27

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО РЕСУРСА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ЗАПАСА СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ

М. И. ПАСТУХОВ

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Ключевые слова: технический ресурс, боковая рама, надрессорная балка, предел выносливости, коэффициент запаса сопротивления усталости, назначенный срок службы.

Введение

Под четырехосными грузовыми вагонами эксплуатировались и продолжают эксплуатироваться трехэлементные двухосные тележки по ГОСТ 9246 с литыми боковыми рамами и надрессорными балками, изготавливаемыми из стали по ГОСТ 977. За истекший период тележки прошли длительный путь своего развития по конструктивному совершенствованию и технологии изготовления (отливки) боковых рам и надрессорных балок, направленных на повышение их несущей способности, надежности и технического ресурса. Поэтому, несмотря на значительный рост осевых нагрузок на детали тележек, технический ресурс литых деталей не только не снизился (табл. 1), но даже и вырос с 30 до 32 лет. Достигнутые результаты вагоностроительной отрасли промышленности являются следствием систематического роста допускаемого коэффициента запаса сопротивления усталости литых деталей, являющегося основным критерием их несущей способности.

Таблица 1

Параметры литых деталей (боковых рам и надрессорных балок) тележек грузовых вагонов, установленных нормативными документами: [1], ГОСТ 9246, ГОСТ 977, ОСТ 32.183

Тип, модель тележки	Годы выпуска тележек	Допускаемая осевая нагрузка P_0 , тс	Марка стали литых деталей	Назначенный срок службы T_n , лет
ЦНИИ-ХЗ	1956–1973	20,5 (1956–1971) 22,0 (1972–1973)	20Л	30
18-100	1974–2006	22,0 (1974–1980) 23,25 (1981–1984) 25,75 (1985–1986 экспериментально) 23,5 (1987–2006)	20ГФЛ 20ГЛ 20ГТЛ 20ГТЛ	30 (1974) 40 (1975–1983) 30 (1984–2001) 32 (2002–2006)
18-578	2007	23,5	То же	32
18-194-1	–	25,0	»	32

Если на начальном этапе изготовления тележек литые детали проектировались с допускаемым коэффициентом запаса сопротивления усталости $[n] = 1,2$, то в настоящее время, в соответствии с требованиями ГОСТ 32400 «Рама боковая и балка надрес-

сорная литых тележек железнодорожных грузовых вагонов» (технические условия), он возрос до $[n] = 1,8$. В перспективе прогнозируется создание литых деталей тележек грузовых вагонов с коэффициентом запаса сопротивления усталости $[n] = 2,0$.

Постановка задачи

Исследование влияния коэффициентов запаса сопротивления усталости боковых рам и надрессорных балок двухосных тележек грузовых вагонов на их технический ресурс в состоянии поставок или остаточный ресурс после длительной эксплуатации вагонов.

Метод решения задачи

Коэффициент запаса сопротивления усталости литых деталей тележек произведен по методике ВНИИВа [2] по зависимости

$$n = \frac{P_a(0,95) + \Psi_\sigma (P_T - P_{ст} K_n)}{P_{ст} K_n K_{дз}}, \quad (1)$$

где $P_a(0,95)$ – предел выносливости детали при вероятности неразрушения 0,95 при базовом числе циклов нагружения $N_0 = 10^7$, полученный по результатам усталостных испытаний. По результатам натурных испытаний деталей ФГУП «ПО Уралвагонзавод» [3] предел выносливости боковой рамы из стали 20ГЛ при вероятности неразрушения $P = 0,95$ в состоянии поставки составляет $P_a(0,95) = 15,55$ тс, а надрессорной балки – $P_a(0,95) = 16,53$ тс (тележки модели 18-100); Ψ_σ – коэффициент чувствительности детали к асимметрии цикла; P_T – постоянная средняя нагрузка цикла; $P_{ст}$ – вертикальная статическая нагрузка брутто на деталь; K_n – коэффициент использования грузоподъемности вагона; $K_{дз}$ – коэффициент вертикальной динамической нагрузки на деталь.

Исходные данные для выполнения расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные для определения коэффициентов запаса сопротивления усталости боковой рамы и надрессорной балки тележки 18-100

Наименование показателя	Обозначение показателя	Размерность	Величины показателей
Осевая нагрузка	P_0	тс	23,5
Допускаемые коэффициенты запаса сопротивления усталости	$[n]$	–	1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0
Предел выносливости деталей из стали 20ГЛ при вероятности неразрушения $P = 0,95$ [3]:			
– для боковой рамы	$P_a(0,95)$	тс	15,55
– для надрессорной балки	$P_a(0,95)$	тс	16,53
Общие коэффициенты снижения усталостной прочности [1]:			
– для боковой рамы	$(K_\sigma)_k$	–	4–4,5
– для надрессорной балки	$(K_\sigma)_k$	–	4,3–4,8
Показатели наклона кривой выносливости, определяемые зависимостью $m = \frac{A}{(K_\sigma)_k}$ [1]:			
– для боковой рамы	m	–	4,5; 4,28; 4,0
– для надрессорной балки	m	–	4,18; 4,0; 3,75

Окончание табл. 2

Наименование показателя	Обозначение показателя	Размерность	Величины показателей
Коэффициенты вертикальной динамики нагрузок: – на боковые рамы – на надрессорные балки	$K_{дэ}$	–	0,5
	$K_{дэ}$	–	0,35
Коэффициент использования грузоподъемности вагона	$K_{и}$	–	0,9
Постоянная средняя нагрузка цикла: – на боковую раму – на надрессорную балку	$P_{т}$	тс	35
	$P_{т}$	тс	45
Вертикальная статическая нагрузка брутто: – на боковую раму – на надрессорную балку	$P_{ст}$	тс	22
	$P_{ст}$	тс	42
Коэффициент чувствительности детали к ассиметрии цикла для низколегированных сталей	Ψ_{σ}	–	0,05

Величины коэффициентов запаса сопротивления усталости литых деталей тележки 18-100 в состоянии поставок составляют:

– для боковой рамы

$$n = \frac{15,55 + 0,05(35 - 22 \cdot 0,9)}{22 \cdot 0,9 \cdot 0,5} = 1,64;$$

– для надрессорной балки

$$n = \frac{16,53 + 0,05(45 - 42 \cdot 0,9)}{42 \cdot 0,9 \cdot 0,35} = 1,27.$$

Однако в процессе эксплуатации тележек происходит «выжигание» деталей с литейными дефектами в опасных зонах с изменением их предела выносливости в сторону его увеличения. Природа причин увеличения усталостной прочности литых деталей до конца не изучена. Невзирая на это, испытания боковых рам и надрессорных балок на усталость после их 30-летней эксплуатации показали, что предел выносливости рам при вероятности неразрушения $P = 0,95$ возрастает на 28 %, а надрессорных балок на 54 % [5]. Поэтому при оценке остаточного ресурса литых деталей через t лет эксплуатации в величину предела выносливости $P_a(0,95)$ зависимости (1) вносится поправочный коэффициент K_t , с учетом которого пересчитываются коэффициенты запаса сопротивления усталости деталей (табл. 3). То есть в зависимость (1) вместо $P_a(0,95)$ подставляется $P_a(0,95)K_t$.

Технический ресурс литых деталей в состоянии поставок (до начала эксплуатации) определяется по зависимости

$$T_{\text{рес}} = T_{\text{н}} \left(\frac{n}{[n]} \right)^m, \tag{2}$$

где $T_{\text{н}}$ – назначенный срок службы детали, лет; n и $[n]$ – соответственно расчетный и допускаемый коэффициенты запаса сопротивления усталости. Допускаемый коэф-

коэффициент запаса сопротивления усталости регламентируется [1] и до появления ГОСТ 32400 принимался:

– при использовании статистически надежных экспериментальных данных по пределу выносливости σ_{aN} при доверительной вероятности $P = 0,95$ и надежных экспериментальных данных по эксплуатационной нагруженности детали σ_{ai} равным $[n] = 1,4$;

– при использовании статистически надежных экспериментальных данных по пределу выносливости σ_{aN} при доверительной вероятности $P = 0,95$ и приближенных данных по σ_{ai} , по установленным нормативам динамических сил либо при использовании средневероятностных данных по σ_{aN} при $P = 0,95$ и надежных экспериментальных данных по σ_{ai} равным $[n] = 1,6$;

– при использовании приближенных данных по σ_{aN} , определяемых расчетным путем или экспертной оценкой при $P = 0,5$, и приближенных данных по σ_{ai} , определяемых расчетным путем по установленным нормативам динамических сил, равным $[n] = 1,8-2,0$; m – показатель степени наклона кривой выносливости, определяемый по [1] по зависимости, приведенной в табл. 2.

Расчетный коэффициент запаса сопротивления усталости n определяется по зависимости (1).

Остаточный ресурс литых деталей после длительной эксплуатации определяется по зависимости

$$T_{\text{ост}} = (T_n - T_t) \left(\frac{n}{[n]} \right)^m, \quad (3)$$

где T_t – срок службы детали на момент t контроля, годы.

Таблица 3

Величины скорректированных коэффициентов запаса сопротивления усталости, в зависимости от срока службы деталей

Срок службы детали T_n , лет	Поправочные коэффициенты K_t		Величины коэффициентов запаса сопротивления усталости в зависимости от T_t	
	для боковых рам	для надрессорных балок	боковых рам	надрессорных балок
0	1,00	1,0	1,64	1,27
10	1,05	1,3	1,72	1,65
20	1,10	1,4	1,80	1,77
30 и более	1,20	1,5	1,96	1,84

Анализ полученных результатов

По материалам натуральных испытаний ФГУП «ПО Уралвагонзавод» [3] определены остаточные ресурсы $T_{\text{ост}}$ боковых рам и надрессорных балок тележки 18-100, изготовленных из низколегированной стали 20ГЛ в состоянии их поставки.

Величины $T_{\text{ост}}$ найдены для пяти вариантов значений $[n]$ зависимости (3) ($[n] = 1,2; 1,4; 1,6; 1,8$ и $2,0$) при постоянных значениях n ($n = 1,64$ – для боковых рам и $n = 1,27$ – для надрессорных балок) и трех вариантов значений m ($m = 4,5; 4,28; 4,0$ – для боковых рам и $m = 4,18; 4,0; 3,75$ – для надрессорных балок [1]) и сведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Показатели $(n/[n])^m$ и $T_{ост}$ боковой рамы тележки 18-100

Допускаемые коэффициенты запаса сопротивления усталости $[n]$	Величины показателей					
	$(n/[n])^m$ при m			$T_{ост}^*$, лет при m		
	4,5	4,28	4,0	4,5	4,28	4,0
1,2	4,0783	3,8074	3,4885	130,5	121,8	111,6
1,4	2,0380	1,9683	1,8830	65,2	62,9	60,2
1,6	1,1175	1,1114	1,1038	35,7	35,5	35,3
1,8	0,6577	0,6713	0,6891	21,0	21,4	22,0
2,0	0,4207	0,4276	0,4521	13,4	13,6	14,4

* Назначенный срок службы боковой рамы из стали 20ГЛ выпуска с 2002 г. составляет 32 года [4].

Таблица 5

Показатели $(n/[n])m$ и $T_{ост}$ надрессорной балки тележки 18-100

Допускаемые коэффициенты запаса сопротивления усталости $[n]$	Величины показателей					
	$(n/[n])m$ при m			$T_{ост}^*$, лет при m		
	4,18	4,0	3,75	4,18	4,0	3,75
1,2	1,2674	1,2545	1,2368	40,5	40,1	39,5
1,4	0,6654	0,6771	0,6938	21,3	21,6	22,2
1,6	0,3807	0,3969	0,4205	12,1	12,7	13,4
1,8	0,2327	0,2478	0,2703	7,4	7,9	8,6
2,0	0,1498	0,1625	0,1821	4,7	5,2	5,8

* Назначенный срок службы надрессорной балки из стали 20ГЛ выпуска с 2002 г. составляет 32 года [4].

Анализ табл. 4 и 5 показывает, что ни боковая рама, ни надрессорная балка, изготовленные из стали 20ГЛ тележки 18-100, не обеспечивают требования ГОСТ 32400 на соответствие допускаемому коэффициенту запаса сопротивления усталости $[n] = 1,8$ в состоянии поставки и величине назначенного срока службы $T_n = T_{ост} = 32$ года, установленного ОСТ 32.183 [4]. Фактически боковые рамы при $T_i = 0$, $n = 1,64$ обеспечивают ресурс $T_n = T_{ост} = 35,5$ лет только при $[n] = 1,6$, а надрессорные балки имеют $T_n = T_{ост} = 40,1$ года – при $[n] = 1,2$. Тем не менее безопасность движения вагонов с тележками 18-100 в течение $T_n = 32$ года при $[n] = 1,6 < 1,8$ боковых рам и $[n] = 1,2 < 1,8$ надрессорных балок обеспечивается на требуемом уровне благодаря возросшему качеству диагностирования деталей при их плановых ремонтах в депо и исключению из работы тех из них, которые по дефектам не отвечают требованиям ОСТ 32.183 [4].

Как видно из табл. 3, расчетные значения коэффициентов запаса сопротивления усталости литых деталей возрастают с увеличением их срока службы, что приводит к сохранению их потенциала по несущей способности при длительной эксплуатации (табл. 6). Так, боковые рамы в состоянии поставки $T_i = 0$ обладают ресурсом $T_n = T_{ост} = 35,5$ лет при $[n] = 1,6$, а через 30 лет эксплуатации в них еще остается ресурс $T_{ост} = 3,6$ года ($30 + 3,6 > 32$ нормированных лет). То же происходит и с надрессорными балками: при $T_i = 0$ и $[n] = 1,2$ $T_n = T_{ост} = 40,1$ год, а через 30 лет эксплуатации в них остается ресурс в 11 лет ($30 + 11 > 32$ лет). При $[n] = 1,8$ ресурс рам составляет $30 + 2 = 32$ года, а надрессорных балок – $30 + 2,1 = 32,1$ года.

Таблица 6

Остаточный срок службы литых деталей тележки 18-100 в зависимости от их срока службы и допускаемых коэффициентов запаса сопротивления усталости

Срок службы детали T_n , лет	Величины остаточного срока службы $T_{ост}$, лет									
	боковой рамы при					надрессорной балки при				
	n^*	$[n] = 1,2$	$[n] = 1,4$	$[n] = 1,6$	$[n] = 1,8$	n^*	$[n] = 1,2$	$[n] = 1,4$	$[n] = 1,6$	$[n] = 1,8$
0	1,64	121,8	62,9	35,5	21,4	1,27	40,1	21,6	12,7	7,9
10	1,72	85,9	44,4	25,0	15,5	1,65	78,6	42,4	24,8	15,5
20	1,80	63,3	32,7	18,1	11,1	1,77	56,8	30,6	17,9	11,2
30	1,96	7,6	6,4	3,6	2,0	1,84	11,0	5,9	3,4	2,1

* Расчетные значения коэффициентов запаса сопротивления усталости с учетом выбраковки дефектных деталей при плановых ремонтах.

Новое поколение тележек (18-578) грузовых вагонов оборудовано боковыми рамами и надрессорными балками повышенной несущей способности [3]: пределы их выносливости при вероятности неразрушения $P = 0,95$ соответственно составляют $P_a(0,95) = 18,49$ тс и $P_a(0,95) = 25,01$ тс. Как следствие, у тележек модели 18-578 коэффициенты запаса сопротивления усталости в состоянии поставки составляют:

– боковых рам

$$n = \frac{18,49 + 0,05(35 - 22 \times 0,9)}{22 \times 0,9 \times 0,5} = 1,94;$$

– надрессорных балок

$$n = \frac{25,01 + 0,05(45 - 42 \times 0,9)}{42 \times 0,9 \times 0,35} = 1,91,$$

а технический ресурс при $T_t = 0$ и $[n] = 1,8$ (в состоянии поставки):

– боковых рам

$$T_{ост} = T_n = (32 - 0) \left(\frac{1,94}{1,8} \right)^{4,28} = 44 \text{ года};$$

– надрессорных балок

$$T_{ост} = T_n = (32 - 0) \left(\frac{1,91}{1,8} \right)^{4,0} = 40,6 \text{ года}.$$

То есть технический ресурс боковых рам и надрессорных балок тележек 18-578 на 8–12 лет превышает назначенный срок службы $T_n = 32$ года (табл. 7).

Таблица 7

Остаточный срок службы литых деталей тележек моделей 18-100 и 18-578 в зависимости от срока службы

Срок службы детали T_n , лет	Величины расчетных коэффициентов запаса сопротивления усталости n и остаточного срока службы $T_{ост}$ при $[n] = 1,8$							
	боковых рам тележек				надрессорных балок тележек			
	18-100		18-578		18-100		18-578	
	n	$T_{ост}$, лет	n	$T_{ост}$, лет	n	$T_{ост}$, лет	n	$T_{ост}$, лет
0	1,64	21,4	1,94	44,0	1,27	7,9	1,91	40,6
10	1,72	15,5	2,03	37,4	1,65	15,5	2,48	79,2

Окончание табл. 7

Срок службы детали $T_{ис}$, лет	Величины расчетных коэффициентов запаса сопротивления усталости n и остаточного срока службы $T_{ост}$ при $[n] = 1,8$							
	боковых рам тележек				надрессорных балок тележек			
	18-100		18-578		18-100		18-578	
	n	$T_{ост}$, лет	n	$T_{ост}$, лет	n	$T_{ост}$, лет	n	$T_{ост}$, лет
20	1,80	11,1	2,13	24,6	1,77	11,2	2,67	58,0
30	1,96	2,0	2,31	5,9	1,84	2,1	2,87	12,9

Практическое приложение результатов

Результаты исследований могут быть использованы при определении назначенного срока службы литых деталей тележек грузовых вагонов.

Заключение

Проведенные исследования показали, что литые детали тележки 18-100 обладают техническим ресурсом на пределе назначенного срока службы 32 года и изменению не подлежат. Технический ресурс литых деталей (боковых рам и надрессорных балок) тележки 18-578 превышает назначенный срок их службы 32 года на 8–12 лет, и для них установленный срок службы может быть пересмотрен в сторону его увеличения с 32 до 40 лет при проведении усталостных испытаний литых деталей после их 30-летней эксплуатации и подтверждении полученных теоретических расчетов.

Литература

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
2. К оценке запасов усталостной прочности надрессорных балок и боковых рам тележки ЦНИИ-ХЗ-О по результатам полных усталостных испытаний / В. С. Плоткин [и др.] // Сб. науч. тр. ВНИИВ. – М., 1978. – Вып. 35. – С. 41–47.
3. Технический уровень тележки 18-578 в сравнении с тележкой 18-100 / В. П. Ефимов // Железнодорож. транспорт. – 2006. – № 7. – С. 56–60.
4. ОСТ 32.183–2001. Тележки двухосные грузовых вагонов колеи 1520 мм. Детали литые. Рама боковая и балка надрессорная. Технические условия. МПС Россия. – Утв. и введ. в действие с 01.05.2002 г. – 22 с.
5. Отчет о научно-исследовательской работе «Проведение испытаний на выносливость надрессорных балок и боковых рам тележек ЦНИИ-ХЗ со сроком службы, превышающим 30 лет» / Брян. гос. техн. ун-т. – Брянск, 1999. – 57 с.

Получено 20.10.2017 г.