

ектировании, точность тормозных расчетов в эксплуатации и получать объективные результаты при исследованиях триботехнических характеристик фрикционных пар трения. Это исключит необходимость внесения изменений в спроектированную тормозную систему по результатам эксплуатации. При использовании одного и того же материала накладок появляется возможность оценки влияния формы накладки на коэффициент трения.

Список литературы

1 **Галай, Э. И.** Анализ методов расчета эффективного радиуса трения в дисковом тормозе / Э. И. Галай, П. К. Рудов // Проблемы безопасности на транспорте: материалы III Меж-

Получено 08.02.2006

Р. К. Rudov. The procedure of design of effective radius of friction of a disk brake with overlays trapezoid form.

The procedure of design of effective radius of friction of a disk brake of diesel engines trains produced on the Riga car-building factory. The calculation method of the effective radius of trapezoid shape braking plates of disk brake of diesel train set produced at Riga carriage building plant. The offered method takes into consideration mechanism of braking moment development on the disk and physical nature of friction factor. The principle of it is that effective friction radius is equal to quotient from division of the braking moment acting on the axle by resulting plate friction force received by arithmetic summing up of elementary friction forces. Braking moment and friction forces are determined on the basis of specific pressure distribution on the friction contact area. There were obtained calculation for mules for effective friction radius under even and uneven plate wear. It is shown that the effective friction radius does not depend on tribotechnical characteristics of materials used but is a function of geometric parameter of friction pares friction contact area and under uneven wear – in addition of wear irregularity factor. The use of this method allows to raise the accuracy of disk brake geometrical and power characteristics determination under design, accuracy of brake calculation and obtain objective results under tribotechnical characteristics investigation of friction couples.

дународ. науч.-практ. конф. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2005. – С. 64–66.

2 **Галай, Э. И.** Оптимальное распределение удельных давлений по площади фрикционной накладки дискового тормоза / Э. И. Галай // Износостойкость машин: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. В 2 ч. – Брянск, 1991. – Ч. 1. – С. 65–66.

3 **Галай, Э. И.** Исследование износа фрикционных накладок дискового тормоза дизель-поезда ДР1 / Э. И. Галай, П. К. Рудов // Совершенствование конструкции и технологии изготовления вагонов: межвуз. сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под ред. Н.М. Ершовой. – Гомель, 1994. – С. 49–54.

4 **Рудов, П. К.** Исследование неравномерного износа накладок дискового тормоза / П. К. Рудов // Трибофатика: пр. 4-го Міжнародного симпозиуму з трибофатики (ISTF 4), 23-27 вересня 2002 р., Тернопіль (Україна) В 2 ч. / Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя; відп. ред. В. Т. Трошенко. – Тернопіль., 2002. – Т. 2. – С. 772–776.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2006. № 1-2(12-13)

УДК. 629.4.027.2

М. И. ПАСТУХОВ, научный сотрудник; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Приведены результаты исследования по оценке остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов второго поколения, выполненных из конструкционно-легированной стали 20Г1Фл. Показано, что в режиме нормальной эксплуатации вагонов (вне экстремального нагружения) несущая способность литых деталей достаточна для обеспечения безопасной их работы сверх назначенного срока службы. Однако в экстремальных условиях при роспуске вагонов через сортировочную горку, когда продольные инерционные силы достигают предельного значения, а также при большом износе трущихся пар бруса – чельность рамы и перекосе колесных пар напряжения в боковых рамах могут превышать допускаемые значения. Вместе с тем детали второго поколения из стали 20Г1ФЛ обладают на 20 % большей сопротивляемостью усталости и в 2 раза большей долговечностью по сравнению со сталью 20Л первого поколения литых деталей. По результатам выполненных исследований предложено срок службы литых деталей устанавливать дифференцированно в зависимости от механических и усталостных характеристик материала и их конструктивных особенностей. Для деталей первого поколения срок службы литых деталей сверх назначенного может быть установлен 6 лет, а для деталей второго поколения – 15 лет.

На Белорусской железной дороге имеется три поколения литых деталей (боковых рам и надрессорных балок) тележек грузовых вагонов, отличающихся конструкцией и материалом. Боковые рамы первого поколения (тележек ЦНИИ-ХЗ) спроектированы по черт. 61.01.108-9 (рамы), а надрессорные балки – по черт. 61.01.102-4. Детали эти отливались из углеродистой стали 20Л по ГОСТ 977 с характеристиками: временное сопротивление $\sigma_{\text{в}} = 412$ МПа, предел текучести

$\sigma_{\text{т}} = 216$ МПа, относительное удлинение $\delta = 22$ %, предел выносливости $\sigma_{-1} = 165$ МПа. Пределы выносливости деталей по амплитудной нагрузке в состоянии поставки при вероятности неразрушения 0,95 – $(P_{\text{aN}})_{0,95} = 100$ кН (рамы) и $(P_{\text{aN}})_{0,95} = 105$ кН (надрессорных балок), а после 30 лет эксплуатации соответственно $(P_{\text{aN}})_{0,95} = 128,1$ кН и $(P_{\text{aN}})_{0,95} = 162,2$ кН. Остаточный срок службы их, установленный по результатам натурных испытаний деталей, равен 27 годам (рам) и 12,9 лет (над-

рессорных балок). По результатам комплексных исследований по оценке остаточного ресурса литых деталей Комиссия Совета по железнодорожному транспорту полномочных специалистов вагонного хозяйства железнодорожных администраций стран СНГ и Балтии разрешила продлить срок службы боковых рам и надрессорных балок на 6 лет сверх назначенного, независимо от конструктивных особенностей деталей и их прочностных характеристик.

Однако детали второго поколения (тележек 18-100) отличаются от деталей первого поколения как по конструкции, так и по материалу. В рамках (черт. 100.00.002-2) в буксовых проемах была увеличена толщина вертикальных и нижней горизонтальной стенок с 18 до 20 мм, введена усиливающая наружная отбуртовка на стенках по наклонному поясу, в зоне внутренних углов буксовых проемов поставлены усиливающие ребра $200 \times 30 \times 12$ мм, в рессорном проеме в нижних углах поставлены ребра жесткости, запрещено исправление литейных дефектов по радиусам 40 и 55 мм в углах обоих проемов без проведения последующей термообработки. Кроме того увеличены диаметры заклепок в соединении фрикционных планок с колонками рамы до 20 мм и усилены ушки их привалочной поверхности.

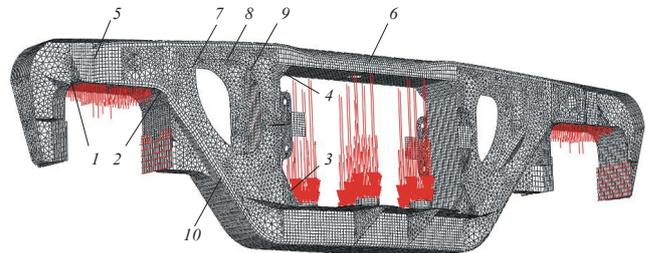
Для усиления надрессорной балки (черт. 100.00.001-0) увеличена толщина подпятника до 30 мм, изменена конфигурация ребер в опорной колонке и др.

Углеродистая сталь деталей была заменена на конструкционные легированные стали марок 20ФЛ, 20ГЛ, 20Г1ФЛ, 20ГТЛ по ГОСТ 977, механические характеристики которых на 40 % выше, чем стали 20Л, а усталостные – на 20 %.

Для оценки влияния произведенных конструктивных изменений в боковой раме тележки модели 18-100 выполнен расчет ее на статическую прочность на I и III эксплуатационные режимы нагружения [1]. Расчет выполнен методом конечных элементов на усилие, возникающее в боковой раме от осевой нагрузки на вагон, равной 230,5 кН (23,5 тс). Пространственная расчетно-конечная модель боковой рамы с оболочечными элементами приведена на рисунке 1. На ней показаны зоны эксплуатационных повреждений (зоны 1 – 10), для которых в таблицу 1 сведены величины коэффициентов перегрузки (отношение фактических величин напряжений к допустимым) для указанных режимов нагружения. На рисунке 2 приведено распределение эквивалентных напряжений в раме от III режима нагружения.

Из таблицы 1 и рисунка 2 следует, что наиболее напряженными зонами рамы являются внутренний угол буксового проема (зона 2) и нижний угол рессорного проема (зона 3). Коэффициенты

перегрузки в них для I режима составляют соответственно 0,6 и 0,573, а для III режима нагружения – 0,942 и 0,514. Это свидетельствует о том, что боковая рама тележки модели 18-100, выполненной из стали 20Г1ФЛ, обладает достаточной несущей способностью для восприятия действующих эксплуатационных нагрузок.



1 – наружный угол буксового проема; 2 – внутренний угол буксового проема; 3 – нижний угол рессорного проема; 4 – верхний угол рессорного проема; 5 – горизонтальный пояс опоры на буксу; 6 – верхний пояс рессорного проема; 7, 8, 9 – верхний наклонный пояс; 10 – нижний наклонный пояс

Рисунок 1 – Расчетная схема боковой рамы тележки модели 18-100

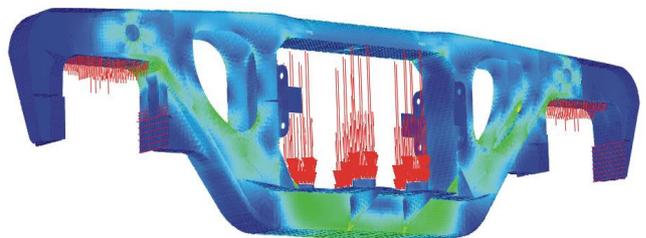


Рисунок 2 – Поле напряжений в боковой раме тележки 18-100 от III режима нагружения

Расчеты также показали, что конструктивное усиление буксового проема (зоны 1, 2 и 5) решило поставленную задачу. В горизонтальном опорном поясе (зона 5), в котором концентрировалось до 40 % всех эксплуатационных повреждений, напряжения снизились в сравнении с боковой рамой тележки типа ЦНИИ-ХЗ в 1,8 раз, что хорошо согласуется с диагностикой рам. Если в рамках тележки ЦНИИ-ХЗ в зоне 5 был наибольший удельный вес всех повреждений, то в рамках тележки модели 18-100 они практически прекратились.

Наблюдения за поведением литых деталей тележек в эксплуатации показали, что после зоны 5 по частоте появления усталостных трещин следует зона 1, в которой доля повреждений составляет 32 % от всех появляющихся в раме. Однако в зоне 1 напряжения как при I, так и при III режимах нагружения не превышают 0,26 от допустимых для рам тележек модели 18-100. Для выяснения причин появления трещин в этой зоне исследовано напряженное состояние рамы при роспуске вагонов на сортировочной горке. По данным ВНИИЖТа [2], при проходе вагоном замедлителей сортировочной горки с малой скоростью (до 5 км/ч) продольные силы на наружный хобот челюсти рамы возрастают с 27 кН при I режиме нагружения на магистральных путях железных дорог до

125 кН при торможении на сортировочных горках. Для проверки влияния изменения продольной силы на сортировочных горках выполнены расчеты боковой рамы на постоянную вертикальную нагрузку 328 кН и изменяющуюся продольную нагрузку от 27 до 125 кН. Расчеты показали, что в этом режиме нагружения напряжения в наружном углу буксового проема (зона 1) превышают допускаемые при продольной силе, равной 94 кН, при условии, что колесная пара в тележке движется без перекоса, а литейные дефекты в зоне 1 отсутствуют (рисунок 3).

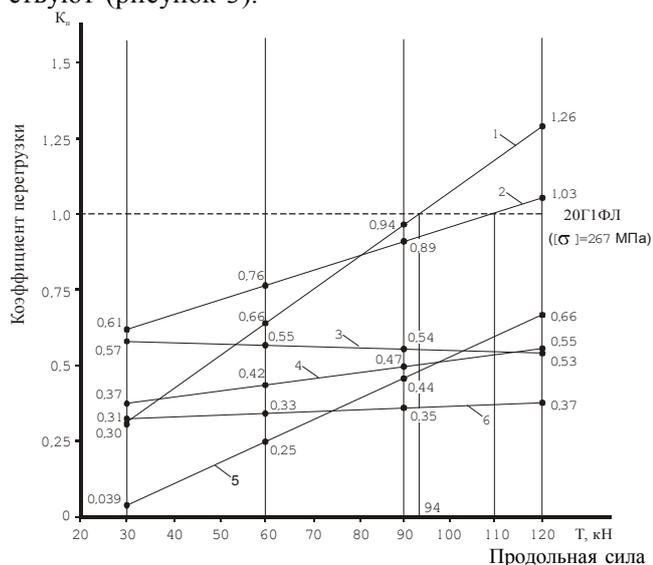


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента перегрузки в раме тележки модели 18-100 от продольной силы

Во внутреннем углу буксового проема (зона 2) напряжения достигают предельного значения при продольной силе 112 кН, что также хорошо согласуется с вероятностью появления усталостных трещин в раме, в эксплуатации. Удельный вес появления в этой зоне повреждений составляет 15 % от общего их количества.

Максимально возможные продольные силы не оказывают отрицательного воздействия на горизонтальный опорный пояс рамы (зона 5). Коэффициент перегрузки в этой зоне при продольной силе 120 кН составляет 0,66.

В остальных зонах напряжения еще ниже, чем в зоне 5. Поэтому появление в эксплуатации трещин в зонах 3 – 9 с малой вероятностью возможно только в экстремальных случаях, когда в эти зоны попадают литейные дефекты, а колесная пара движется с перекосом.

Наряду с оценкой несущей способности рамы тележки выполнены комплексные исследования изменения механических и усталостных характеристик сталей 20Л и 20Г1ФЛ, из которых изготавливались боковые рамы тележек ЦНИИ-ХЗ и 18-100. Исследования показали, что при длительной эксплуатации тележек (30 и более лет) происходят изменения как механических, так и усталостных характеристик материала литых деталей. Проис-

ходит охрупчивание сталей со снижением их пластичности на 22 – 27 % (таблица 2). Сопrotивление усталости стали 20Л практически не меняется, а стали 20Г1ФЛ – снижается на 9 %. Вместе с тем предел выносливости натуральных деталей за 30 летний период эксплуатации не только не снижается, но, наоборот, возрастает на 28 – 54 % [3].

Таблица 1 – Распределение коэффициентов перегрузки по боковым рамам тележек ЦНИИ-ХЗ и 18-100

Наименование зоны	Код зоны	Коэффициенты перегрузки боковых рам			
		61.01.108-09		100.00.002-2	
		I режим	III режим	I режим	III режим
Наружный угол буксового проема	1	0,422	0,103	0,260	0,093
Внутренний угол буксового проема	2	0,674	0,833	0,600	0,942
Нижний угол рессорного проема	3	0,456	0,645	0,573	0,514
Пояс опоры рамы на буксу	5	0,482	0,337	0,266	0,388
Верхний пояс рессорного проема	6	0,209	0,305	0,300	0,419
Верхний наклонный пояс	7	0,261	0,384	0,160	0,360
Нижний наклонный пояс	10	0,286	0,385	0,106	0,184

Это объясняется тем, что, с одной стороны, «слабые» детали (с литейными дефектами в опасных зонах) постепенно изымаются из работы при их диагностировании во время ремонта вагонов, а с другой – происходит упрочнение остающихся деталей за счет кратковременных перегрузок до уровня предела текучести [4].

Пределы выносливости натуральных деталей в состоянии поставки при вероятности неразрушения 0,95 возросли со 100 – 105 кН до 133,7 кН (рам) и 147 кН (надрессорных балок), т. е. на 33 – 40 % [5].

Остаточный срок службы их, установленный по результатам испытаний образцов [6], изготовленных из деталей после их 30 – летней работы составляет 39,4 лет для боковых рам и 21,8 лет для надрессорных балок (см. таблицу 2), т. е. выше, чем остаточный срок службы литых деталей, изготовленных из стали 20Л, соответственно на 45 и 68 %. Следовательно, имеется реальная возможность продления срока службы боковым рамам и надрессорным балкам второго поколения сверх назначенного (32 года) – на 15 лет.

Таблица 2 – Результаты комплексных исследований по оценке остаточного ресурса литых деталей тележек ЦНИИ-ХЗ(18-100) грузовых вагонов

Параметр	Тележки			
	ЦНИИ-ХЗ	18-100		
	Период контроля			
	в состоянии поставки	после 30 лет эксплуатации	в состоянии поставки	после 30 лет эксплуатации
	Материал боковых рам и надрессорных балок			
	20Л по ГОСТ 977	20Г1ФЛ по ГОСТ 977		
Механические характеристики:				
предел текучести σ_m , МПа	216	242,25*	314	324*
временное сопротивление σ_a , МПа	412	441*	510	482*
относительное удлинение δ , %	22	17,3*	17	13,9*
Среднее значение предела выносливости гладкого образца из материала детали при симметричном цикле изгиба на базе $N_0 = 10^7$ циклов $\bar{\sigma}_{-1}$, МПа	165	165-175	200	181,5
Предел выносливости натуральных деталей по амплитудным нагрузкам и вероятности неразрушения 0,95 (P_{aN}) _{0,95} , кН:				
боковой рамы	100	128,1	133,7	–
надрессорной балки	105	162,2	147	–
Остаточный ресурс после выработки назначенного срока службы T_0 , лет:				
боковой рамы	–	27	–	39,4
надрессорной балки	–	12,9	–	21,8
Решение Комиссии Совета по ж.-д. транспорту полномочных специалистов вагонного хозяйства ж.-д. администраций стран СНГ и Балтии (пр. № 18-06-02-01/4486 от 17.04.2002 г.) о продлении срока службы литых деталей, лет	–	6	–	6
Ожидаемый срок службы литых деталей сверх назначенного T_0 , лет	–	6	–	15
* Средние значения.				

Это обретает особую актуальность при проведении капитальных ремонтов грузовых вагонов с продлением срока службы (КРП), при которых срок службы кузова продлевается до 16 лет, и в целом вагон с назначенным сроком службы 32 года может работать до 48 лет. Тележки же через 38 лет (32 + 6) изымаются из эксплуатации, и возникает необходимость в подборе тележек с ресурсом

на оставшиеся 10 лет работы продленного кузова. Продление срока службы тележек второго поколения на 15 лет снимает эту проблему.

Детали третьего поколения, выполненные из стали 20ХГНФТЛ, вступили в эксплуатацию в 2001 г. Они обладают значительно большим потенциалом по несущей способности как по отношению к деталям первого, так и второго поколения. Их механические и усталостные характеристики по ОСТ 32.183-2001 составляют: временное сопротивление $\sigma_b = 540$ МПа, предел текучести $\sigma_t = 373$ МПа, относительное удлинение $\delta = 20$ % и среднее значение предела выносливости $\bar{\sigma}_{-1} = 243$ МПа. Назначенный срок службы боковых рам и надрессорных балок – 35 лет, который начнет истекать после 2036 года. Экспериментально оценить остаточный срок службы этих деталей можно только после 2036 года. Тем не менее ориентировочный прогноз им можно сделать по материалам испытания образцов из деталей второго поколения, выполненных из стали 20Г1ФЛ после их 30-летней работы, а именно: если исходить из вероятного снижения сопротивления усталости материала стали 20ХГНФТЛ, как и для стали 20Г1ФЛ – 9 %, то ожидаемый предел выносливости материала деталей третьего поколения после 30 летней эксплуатации: $\bar{\sigma}_{-1t} = 243 \cdot 0,91 = 221$ МПа [6].

Сопротивление усталости натуральных деталей, найденное по методике [7]:

– для вероятности неразрушения $P = 0,5$

$$\bar{\sigma}_{aNi} = \frac{\bar{\sigma}_{-1t}}{[\bar{K}_\sigma]_k}, \quad (1)$$

где $\bar{\sigma}_{-1t}$ – среднее (медианное) значение предела выносливости гладкого стандартного образца из материала детали после отработки ею назначенного срока службы (по ГОСТ 25.502-79) при симметричном цикле изгиба на базе $N_0 = 10^7$; $[\bar{K}_\sigma]_k$ – среднее значение коэффициента общего снижения предела выносливости; для боковых рам $[\bar{K}_\sigma]_k = 4,25$ и для надрессорных балок $[\bar{K}_\sigma]_k = 4,5$;

– для вероятности неразрушения $P = 0,95$

$$\sigma_{aNi} = \bar{\sigma}_{aNi} (1 - z_p v_\sigma), \quad (2)$$

где z_p – квантиль распределения, соответствующий односторонней вероятности $P = 0,95$, полагая, что σ_{aN} – случайная величина, имеющая нормальный закон распределения; $z_p = 1,645$ [6]; v_σ – коэффициент вариации предела выносливости детали; для стальных отливок $v_\sigma = 0,1$ [1].

Пределы выносливости, найденные по зависимостям (1) и (2), будут соответственно равны:

боковой рамы $\bar{\sigma}_{aNi} = 52$ МПа и $\sigma_{aNi} = 43,3$ МПа;

надрессорных балок $\bar{\sigma}_{aNi} = 49,1$ МПа и $\sigma_{aNi} = 41$ МПа.

Остаточный срок службы, по результатам испытания образцов, определяется по формуле

$$T_0 = \frac{\left(\frac{\sigma_{aN}}{[n]}\right)^m N_0}{B f_3 \sum \sigma_{ai}^m P_{\sigma i}}, \quad (3)$$

где $[n]$ – допускаемый коэффициент сопротивления усталости; $[n] = 1,4$; m – показатель степени кривой выносливости; для боковых рам $m = 4,65$ и для надрессорных балок $m = 4,35$; N_0 – базовое число циклов, $N_0 = 10^7$; B – коэффициент перевода календарного расчетного срока службы детали в годах во время непрерывного движения в секундах; $B = 3,04 \cdot 10^6$ с [1]; f_3 – центральная (эффективная) частота процесса изменения динамических напряжений, Гц; $f_3 = 3,56$ Гц – для надрессорных балок и $f_3 = 4,46$ Гц – для боковых рам [1]; $\sum \sigma_{ai}^m P_{\sigma i}$ – суммарная величина спектра динамических амплитудных напряжений в эксплуатации; для боковых рам из стали 20Г1ФЛ $\sum \sigma_{ai}^m P_{\sigma i} = 124295$, а для надрессорных балок $\sum \sigma_{ai}^m P_{\sigma i} = 70228$.

В соответствии с формулой (3) ожидаемый остаточный срок службы будет равен:

- для боковых рам – 50,5 лет;
- для надрессорных балок – 31,5 лет.

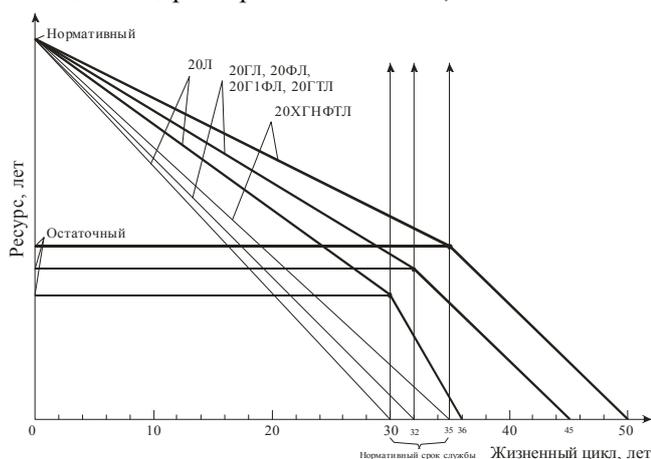


Рисунок 4 – Зависимость жизненного цикла литых деталей от конструкции и материала изготовления

Получено 23.12.2005

M. I. Pastuhov. Rational use of cast details of carriages of freight cars.

Results of research are resulted according to a residual resource of cast details of carriages of freight cars of the second generation executed from designing-alloyed steel 20G1FL. It is shown, that in a mode of normal operation of cars (outside of extreme loading) carrying ability of cast details sufficient for maintenance of their safe work over the appointed service life. However in extreme conditions at dissolution of cars through a hump yard when longitudinal inertial forces reach limiting value, and also at the big deterioration of rubbed pairs an axle box - and a skew of wheel pairs a pressure in lateral frames admitted values can exceed a jaw of a frame. At the same time details of the second generation from steel 20G1FL possess on 20 % the greater resistibility of weariness and in 2 times the greater durability in comparison with steel 20L the first generation of cast details. By results of the executed researches it is offered to establish service life of cast details is differentiated depending on mechanical and fatigue characteristics of a material and their design features. For details of the first generation service life of cast details over appointed can be established 6 years, and for details of the second generation - 15 years.

На рисунке 4 приведен график зависимости срока службы литых деталей за жизненный цикл с учетом остаточного их ресурса для трех поколений боковых рам и надрессорных балок: для деталей из стали 20Л – 36 лет, для деталей из стали 20Г1ФЛ и др. – 45 лет и для деталей из стали 20ХГНФТЛ – 50 лет.

Срок службы 45 лет для деталей второго поколения будет оптимальным, так как он кратен сроку службы колесных пар (15 лет), при котором полностью исчерпывается ресурс всех элементов тележки.

Список литературы

- 1 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ВНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 318 с.
- 2 Харитонов, Б. В. Пути снижения повреждаемости боковых рам тележек грузовых вагонов на сортировочных горках: дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / Б. В. Харитонов / ВНИИЖТ. – М., 1999. – 132 с.
- 3 Разработка методики диагностирования литых несущих деталей (надрессорных балок и боковых рам) тележек ЦНИИ-ХЗ (18-100), проработавших более 30 лет, и порядок продления срока их службы: отчет о НИР / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. № 62.00.50.00.01.01. – М., 2000. – 88 с.
- 4 Исследование и совершенствование способа упрочнения боковых рам тележек ЦНИИ-ХЗ-О упругопластическим деформированием / В. А. Косарев и др. // Повышение надежности и совершенствование ремонта вагонов : сб. науч. тр. / ЦНИИ МПС. – М., 1982. – Вып. 652. – С. 106–114.
- 5 Плоткин, В. С. Уточнение оценки усталостной прочности надрессорных балок и боковых рам тележки модели 18-100 по результатам полных усталостных испытаний / В. С. Плоткин, А. Б. Сурвилло // Повышение прочности и надежности вагонных конструкций // Тр. ВНИИВа. – 1980. – Вып. 42. – С. 3–7.
- 6 Сенько, В. И. К оценке влияния срока службы вагонов на изменение характеристик сталей литых деталей / В. И. Сенько, И. Ф. Пастухов, М. И. Пастухов // Машиностроение: респ. межвед. сб. науч. тр. / БНТУ. – Мн., 2005. – Вып. 21. – Т. 2. – С. 73–76.
- 7 Разработка методологии продления срока службы литых деталей транспортных систем с оценкой остаточного ресурса: отчет о НИР по программе ГПОФИ «Надежность и безопасность» ИМИНМАШ НАН Беларуси / БелГУТ; рук. темы И. Ф. Пастухов. – № 2002468. – Гомель, 2005. – 183 с.