

Ш. МИКАЛЮНАС, Л. П. ЛИНГАЙТИС, В. ПОДВЕЗЬКО (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва)

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЛУБРИКАТОРОВ НА ИЗНОС КОЛЕСНЫХ ПАР

У статті наведені результати досліджень ймовірностної оцінки впливу лубрикативів на знос колісних пар. Показана залежність інтенсивності стирання гребеня від пробігу. Отримано регресійні криві, що дозволяють прогнозувати інтенсивність стирання гребеня. Дослідження показали, що система змащення гребенів дозволяє збільшити працездатність колісної пари до обточування не менш ніж на 31 %.

В статье приведены результаты исследований вероятностной оценки влияния лубрикативов на износ колесных пар. Показана зависимость интенсивности стирання гребня от пробега. Получены регрессионные кривые, позволяющие прогнозировать интенсивность стирання гребня. Исследования показали, что система смазки гребней позволяет увеличить работоспособность колесной пары до обточки не менее чем на 31 %.

The article represents the research results of probabilistic evaluation of the effect of lubricators upon the wear-out of wheelsets. The authors show dependence of the intensity of flange tear-out on the running distance. Received regression curves have been provided, allowing to forecast intensity of the flange tear-out. The studies have shown that flange lubrication system allows to enlarge running resource of the wheelset by no less than 31% before facing is required.

Введение

Колесные пары локомотива являются основным и особенно важным и ответственным элементом ходовой части. Это один из наиболее изнашиваемых и требующих много средств для ремонта узлов. От их качества и технического состояния значительно зависят безопасность движения подвижного состава и равномерность движения. Поэтому очень важно знать изменения интенсивности износа колесных пар на различных этапах эксплуатации.

Выполнив такие исследования, можно точнее прогнозировать ресурс бандажей колесных пар до ремонта, потребность запаса колесных пар для всего локомотивного парка, оптимизировать периодичность технического осмотра и ремонта, рациональнее использовать средства, предназначенные для ремонта тягового подвижного состава.

1. Объект и цель исследования

В процессе износа бандажей колесных пар, весь профиль качения колеса постепенно утрачивает конусообразность и на нем появляется полоса стирання, т. е. на поверхности колесных пар образуется износ.

На износ бандажей влияют такие факторы: пластическая деформация, вследствие которой металл вытесняется с поверхности катания в сторону гребня. Другой фактор – тепловое воз-

действие на колеса в процессе пробуксовки либо торможения локомотива.

Существенные деформации бандажей и головки рельса происходят из-за продолжительного взаимодействия колес и рельсов. В таком случае циклическое воздействие контактных напряжений может создать остаточные деформации. Хотя они и не могут полностью испортить бандаж, однако могут нарушить условия нормальной работы – создать динамические нагрузки и вибрации.

Изменения размеров бандажа определяется износом поверхности катания (i) (рис. 1), и толщины гребня (A) (естественный износ), а также из-за уменьшения слоя металла при обточке бандажа, восстанавливая толщину и высоту гребня и профиль бандажа (технологический износ), т. е. суммарной интенсивностью износа.

Износ бандажа (i) происходит из-за пластической деформации металла под воздействием нормальных сил. Другая причина – отделение частиц металла бандажа в местах контакта с рельсами под воздействием сил трения. Величина нормальной силы зависит от конструкции локомотива, а сила трения – от значений нормального давления и коэффициента сцепления.

Основным фактором, влияющим на интенсивность износа гребня (A), является его скольжение относительно рельса, происходящее из-за сближения и удаления гребня от боковой плоскости головки рельса в процессе движения локомотива [1; 2].

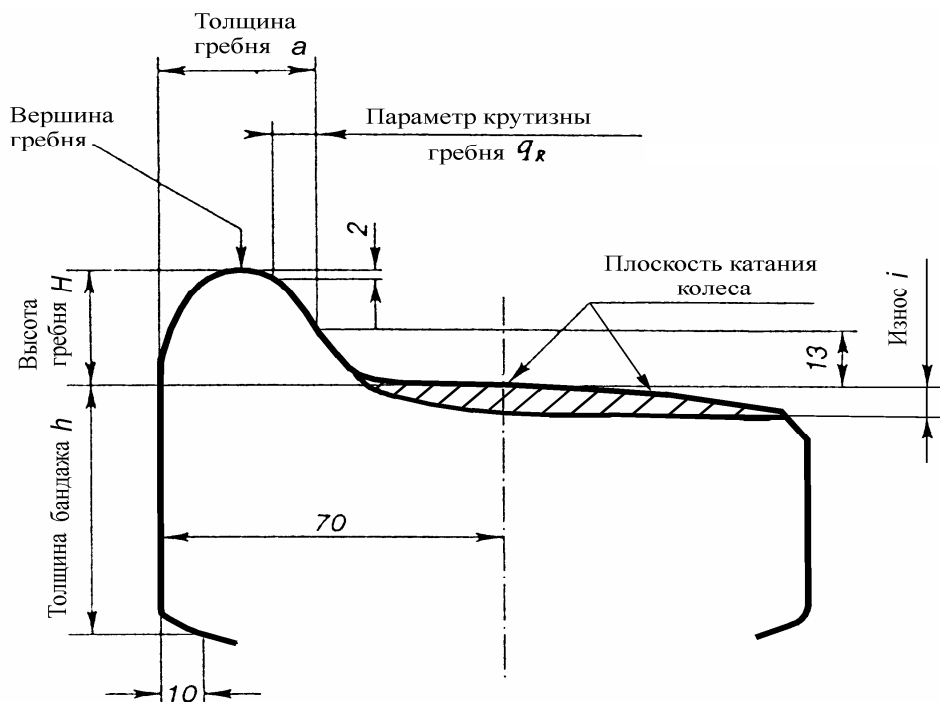


Рис. 1. Профиль поверхности и контролируемые параметры колесной пары

Зазор между гребнем и головкой рельса создает волнообразное движение колесной пары относительно колеи. Это постоянное сближение и удаление гребня от боковой поверхности рельса и является основной причиной интенсивного износа гребней бандажей колесных пар.

На износ бандажей колесных пар локомотивов влияет множество случайных факторов: химический состав металла бандажей, его физические свойства и однородность, качество изготовления, климатические условия эксплуатации, режимы нагрузки и их цикличность, продолжительность работы при максимальной нагрузке, температурные условия эксплуатации, влажность воздуха и его запыленность, загрязненность поверхности бандажа абразивными частицами (например, из-за наличия песка между колесами и рельсами), состояние пути, от которого зависит величина и интенсивность динамических нагрузок на подвижной состав, скорость движения, условия смазки места контакта колеса и рельса.

Среди перечисленных факторов невозможно выделить единственный, наиболее важный. Интенсивность износа колесных пар, как комплексного фактора, можно установить методом экспериментов.

Желая уменьшить износ бандажей, в локомотивах можно использовать систему смазки гребней бандажей колесных пар. Одна из таких – система FluiLub смазки гребней бандажей колесных

пар немецкой фирмы Baier+Körpel. Основой ее действия является подача смазки на гребень бандажа колеса локомотива при движении на кривых участках, когда трение между рельсом и гребнем колеса максимальное. В зависимости от направления движения локомотива, смазываются гребни передних колес каждой секции локомотива.

Применяемая в настоящее время периодичность обточки колесных пар не является рациональной и прогноз ее сложен. Это есть одна из причин из-за которой предприятия, эксплуатирующие подвижной состав, имеют дополнительные убытки – несвоевременно производится обточка колес, а также уменьшается срок эксплуатации из-за дополнительной сточки слоя металла.

Цель проводимых исследований – установить тенденцию износа колесных пар, используя которую можно было бы прогнозировать межремонтный пробег и приобретение необходимого количества новых колесных пар, планировать количество ремонтов.

2. Условия проведения эксперимента

Для эксперимента были выбраны два локомотива 2М62 (в двух секциях каждого локомотива 12 колесных пар) без использования системы смазки и один локомотив 2М62, на котором была смонтирована система смазки гребней колесных пар FluiLub немецкой

фирмы Vaier+Körpel. На гребни бандажей локомотива, в котором смонтирована система смазки колесных пар, наносилось синтетическое масло Ciso TL 1400 В зимой и Ciso TL 1500 В в летнее время. В их составе содержание твердых частиц соответственно 15 и 30 %. Давление воздуха в системе 0,7 МПа.

В начальном моменте эксперимента все колесные пары были новыми, т. е. размеры их бандажей соответствовали номинальным параметрам, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Основные контролируемые размеры профиля бандажа

Контролируемые размеры	Прокат бандажа <i>i</i> , мм	Толщина гребня <i>a</i> , мм	Толщина бандажа <i>h</i> , мм
Начальные (номинальные)	0,0	33,0	77,0
Предельные	7,0	25,0	36,0*

Примечание: эта толщина бандажа в процессе эксплуатации достигается вследствие обточки, когда необходимо восстановить профиль катания колесной пары из-за значительного износа гребня (когда $a < 25,0$ мм).

Измерения износа профиля колесных пар проводились каждый месяц, когда локомотивы приезжали в депо на техническую профилактику (ТР-3) либо для ремонтных работ. Средний пробег локомотивов между обмерами без системы смазки гребней составил 10 785 км, а со смазкой колесных пар – 10 504 км.

На интенсивность стирания колесных пар локомотивов, а особенно гребней, большое влияние имеет кривизна пути, поэтому в процессе выполнения эксперимента локомотивы курсировали по путям с радиусом кривизны, соответствующим среднему значению для Литвы. Радиусы кривизны железных дорог Литвы приводятся в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что отношение кривых и прямых участков железных дорог Литвы составляет 1:3.

Задавалось требование, чтобы бандажи колесных пар с системой смазки и без нее эксплуатировались в однотипных условиях, т. е. на тех же участках пути, и выполняемая ими работа (т·км·брутто) была бы одинакова, а обе секции локомотива всегда должны были работать вместе.

Таблица 2

Распределение протяженности железных дорог Литвы по радиусам кривизны

Участки, км	1809,2
Кривые участки, км, радиусы кривизны которых	
– < 300 м	4,8
– 300...350 м	3,9
– 351...500 м	16,8
– 501...650 м	88,9
– 651...800 м	61,7
– 801...1 000 м	109,9
– 1 001...1 200 м	94,9
– 1 200 м	220,5
Всего: кривых участков, км	601,4
Всего: общая продолжительность основных дорог, км	2 410,6

3. Технология измерений

Величина стирания бандажа и толщина гребня колесных пар были выполнены шаблоном по требованиям «Инструкции по формированию, ремонту и осмотру колесных пар тягового подвижного состава колеи 1 520 мм» [6].

Схема измерения степени стирания бандажа и толщины гребня приведены на рис. 2.

При измерении стирания бандажа и толщины гребня базовой поверхностью были внутренняя вертикальная поверхность бандажа и вершина гребня, которые не изменяются в процессе эксплуатации.

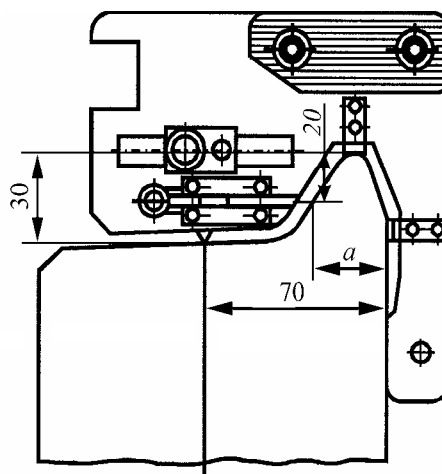


Рис. 2. Схема измерения толщины гребня

Толщина гребня (a) – расстояние, измеренное в горизонтальном направлении, на 20 мм ниже вершины гребня (рис. 2).

Высота гребня (H) – расстояние, измеренное в вертикальном направлении, между вершиной гребня и поверхностью катания бандажа. Разница между измеренной величиной высоты гребня и высотой гребня нового либо обточенного бандажа характеризует износ (i), который появляется в процессе эксплуатации по всей окружности колеса. Износ измеряется в плоскости окружности катания колеса, которая находится на расстоянии 70 мм от внутренней поверхности бандажа [6].

Каждый бандаж измерялся в трех местах по периметру. Измерялись следующие контрольные параметры колесных пар: износ бандажа i и толщина гребня a . В журнале измерений для каждого бандажа фиксировались: наибольшее значение износа и наименьшая толщина бандажа, т. е. фиксировались значения наибольшего стирания.

Точность шаблона при измерении износа $\pm 0,1$ мм, а при измерении толщины бандажа $\pm 0,3$ мм.

4. Методика обработки результатов эксперимента и полученные результаты

За период наблюдений максимальный пробег колесных пар без системы смазки составил 135 509 км, а с системой смазки – 141 648 км. Всего были получены 456 значений каждого контролируемого параметра для колесных пар без

системы смазки и 308 значений для колесных пар с системой смазки.

Учитывая стохастический характер исследуемых величин i – степени износа бандажа и A – интенсивности стирания гребня, для обработки результатов наблюдений был использован регрессионный анализ и методы вероятностного прогнозирования. Необходимо было найти математические зависимости – линии регрессии, наилучшим образом описывающие зависимости i и A от пройденного пути L и пригодные для осуществления прогнозов величин i и A , и с заданной вероятностью P (близкой к 1) рассчитать доверительные интервалы средних наблюдаемых и прогнозных значений.

Были вычислены параметры достаточно большого класса зависимостей: линейной, квадратичных, кубических, логарифмических, гиперболических, экспоненциальных для описания результатов эксперимента, с целью выбора одной, наиболее приемлемой аппроксимирующей функции. Наилучшая зависимость выбиралась по минимальному остаточному среднему квадратическому отклонению S , рассчитываемому каждый раз для величин i и A . Коэффициенты зависимостей вычислялись, используя метод наименьших квадратов [7].

Расчеты проводились при помощи математического пакета MAPLE-7 [5], а для построения графиков использовался пакет EXCEL-2000.

Наилучшими для описания процессов и осуществления прогнозов оказались зависимости, указанные в табл. 3.

Таблица 3

Наилучшие регрессионные кривые для описания и прогнозов i и A .

№	Зависимости	S_i	S_A
1	2	3	4
1	– без системы смазки		
	$i = -0,645 \cdot 10^{-6} L + 0,693 \cdot 10^{-9} L^2 - 0,437 \cdot 10^{-14} L^3$	1,1515	–
	$i = -0,0951 + 0,482 \cdot 10^{-5} L + 0,608 \cdot 10^{-9} L^2 - 0,399 \cdot 10^{-14} L^3$	1,1522	–
	$i = -0,35 + 0,387 \cdot 10^{-4} L - 0,129 \cdot 10^{-9} L^2$	1,1666	–
	$i = 0,0324 - 0,968 \ln(L+1) + 0,1 \ln^2(L+1)$	1,1675	–
	– с системой смазки		
	$i = -0,695 \cdot 10^{-5} L + 0,506 \cdot 10^{-9} L^2 - 0,238 \cdot 10^{-14} L^3$	0,9468	–
$i = -0,019 - 0,6 \cdot 10^{-5} L + 0,493 \cdot 10^{-9} L^2 - 0,233 \cdot 10^{-14} L^3$	0,9483	–	

1	2	3	4
	$i = -0,294 + 0,21 \cdot 10^{-4} L$	0,9570	–
	$i = -0,276 + 0,202 \cdot 10^{-4} L + 0,63 \cdot 10^{-11} L^2$	0,9585	–
2	– без системы смазки		
	$A = 0,556 \cdot 10^{-2} - \ln(L+1) + 0,124 \ln^2(L+1)$	–	1,0478
	$A = 0,252 + 0,108 \cdot 10^{-3} L - 0,992 \cdot 10^{-9} L^2 + 0,374 \cdot 10^{-14} L^3$	–	1,0548
	$A = 0,123 \cdot 10^{-3} L - 0,122 \cdot 10^{-8} L^2 + 0,475 \cdot 10^{-14} L^3$	–	1,0579
	$A = 0,49 + 0,765 \cdot 10^{-4} L - 0,301 \cdot 10^{-9} L^2$	–	1,0687
	– с системой смазки		
	$A = 0,585 \cdot 10^{-2} - 0,733 \ln(L+1) + 0,0879 \ln^2(L+1)$	–	1,2107
	$A = 0,744 \cdot 10^{-4} L - 0,674 \cdot 10^{-9} L^2 + 0,246 \cdot 10^{-14} L^3$	–	1,2113
	$A = 0,186 + 0,651 \cdot 10^{-4} L - 0,547 \cdot 10^{-9} L^2 + 0,195 \cdot 10^{-14} L^3$	–	1,2118
	$A = 0,4 + 0,432 \cdot 10^{-4} L - 0,14 \cdot 10^{-9} L^2$	–	1,2163

Доверительные интервалы для i и A рассчитывались по формулам [7]:

$$i_L \pm t_{\nu, P} S_i \sqrt{X_L^T (X^T X)^{-1} X_L}, \quad (1)$$

$$A_L \pm t_{\nu, P} S_A \sqrt{X_L^T (X^T X)^{-1} X_L}, \quad (2)$$

где i_L – расчетные (теоретические) значения i , X – матрица исходных данных, зависящая от используемой функциональной зависимости, $t_{\nu, P}$ – соответствующее значению из таблицы распределения Стьюдента, X_L – L -я строка матрицы X [7]. Аналогичный смысл величин формулы доверительных интервалов для A (2).

Доверительные интервалы рассчитывались и графики чертились для доверительной вероятности $P = 0,95$ (т. е. $\alpha = 0,05$), соответствующей значению распределения Стьюдента $t = 1,96$.

Результаты окончательной обработки данных и их доверительные интервалы изображены на рис. 3 и 4.

Сравнив полученные результаты, определили, что интенсивность стирания гребней (A) колесных пар локомотивов почти в два раза больше, чем интенсивность стирания бандажей (i). Следовательно, интенсивность стира-

ния гребней определяет межремонтный период бандажей колесных пар.

Из рис. 3 очевидно, что данная система смазки гребней не влияет на интенсивность появления износа (i), а значит лубрикатор наносится точно на назначенное место на гребне.

Из полученных зависимостей видно, что износ бандажей формируется с одинаковой интенсивностью на всех этапах эксплуатации, а гребень интенсивнее стирается в начале эксплуатации (пробег 30 000...40 000 км), пока профиль бандажа приобретает форму головки рельса. Дальше – интенсивность стирания гребня уменьшается и опять начинает возрастать с 150 000 км.

По полученным функциям можно прогнозировать, что обточка колесных пар из-за стирания гребня потребует после пробега 160 000 км с начала эксплуатации без применения лубрикаторов и после 205 000 км при смонтированной системе смазки гребней. Следовательно, можно утверждать, что применяя систему смазки гребней, можно увеличить работоспособность колесной пары не менее чем в 1,3 раза.

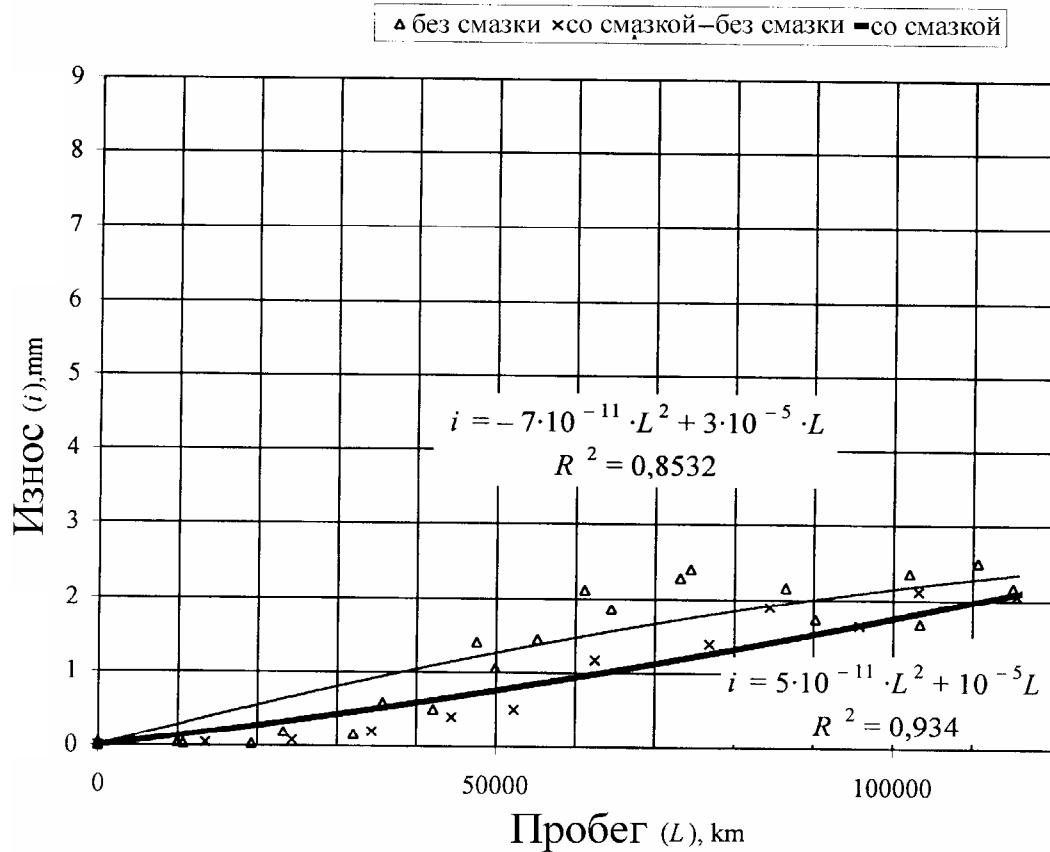


Рис. 3. Зависимость проката от пробега

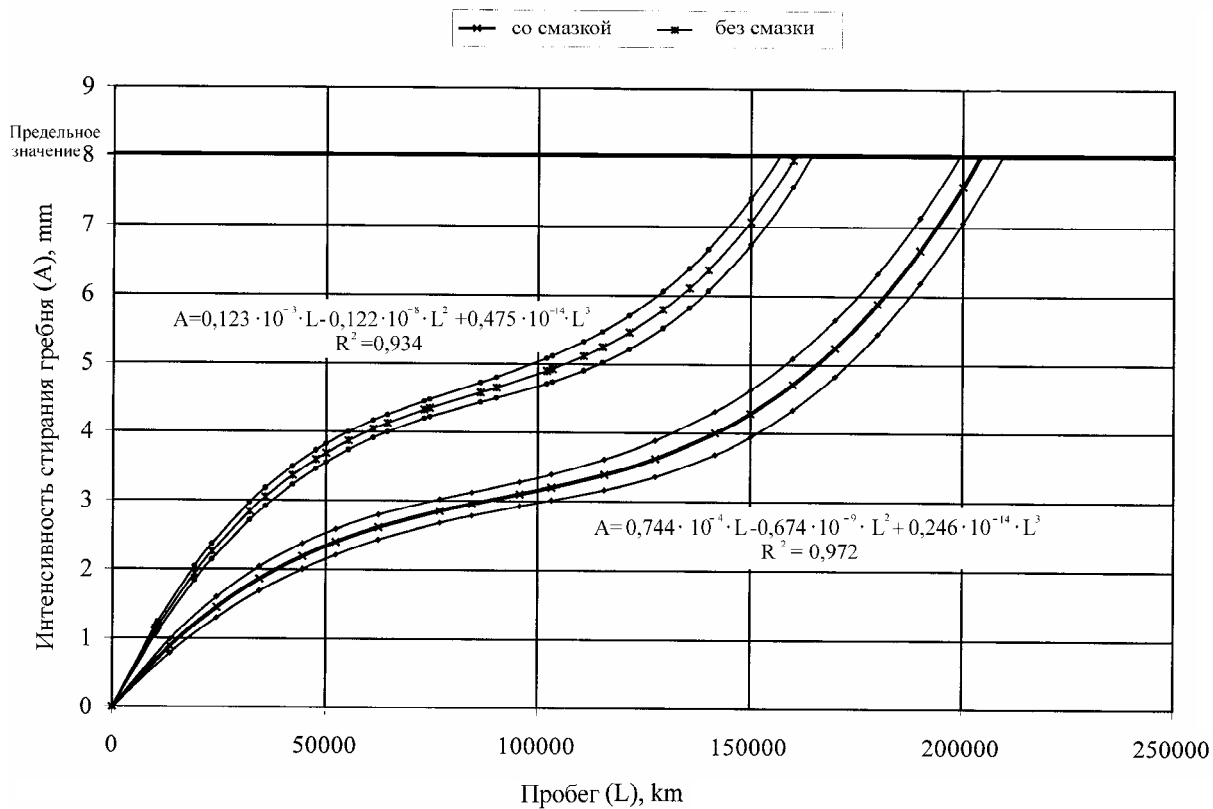


Рис. 4. Зависимость интенсивности стирания гребня от пробега

Выводы

Исследования показали, что гребень интенсивнее стирается в начале эксплуатации (пробег 30 000...40 000 км).

Интенсивность стирания гребней колесных пар локомотивов почти в два раза больше, чем интенсивность стирания бандажей, поэтому интенсивность стирания гребней определяет межремонтный период бандажей колесных пар.

Можно прогнозировать, что обточка колесных пар из-за стирания гребня потребует после пробега $160\,000 \pm 3\,000$ км с начала эксплуатации без применения лубрикаторов и после $205\,000 \pm 4\,000$ км при смонтированной системе смазки гребней.

Система смазки гребней позволяет увеличить работоспособность колесной пары до обточки не менее чем на 31 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курасов Д. А. Повышение долговечности бандажей колесных пар подвижного состава. – М.: Транспорт, 1981. – 160 с.
2. D. G. Grieve, R. S. Dwyer-Joyce, J. H. Beynon. Abrasive wear of railway track by solid contaminants // *Journal of Rail and Rapid Transit*. Volume 215. 2001. – P. 193–205.
3. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 367 с.
4. A. Moreau. Characteristics of wheel/rail contact // *Rail Engineering*. International Edition, 1992. – № 3. – P. 15–22.
5. Аладьев В. З. Maple 6: Решение математических, статистических и инженерно-физических задач / В. З. Аладьев, М. А. Богдвичюс. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 824 с.
6. Инструкция по формированию, ремонту и осмоту колесных пар тягового подвижного состава колеи 1520 мм. Вильнюс: LG, 1999. – 129 с.
7. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.

Поступила в редколлегию 15.05.04.