

Бобров Алексей Леонидович работает в СГУПС с 1996 г. Сфера научных интересов – физические методы неразрушающего контроля технических объектов, методы контроля и диагностики объектов железнодорожного транспорта, материаловедение на транспорте. В 2000 г. защитил кандидатскую диссертацию, в настоящее время доцент кафедры «Электротехника, диагностика и сертификация», руководитель АЦ «ТРАНСИБ».

УДК 629.4.023:620.179.1

А.Л. БОБРОВ

ОЦЕНКА ДЕФЕКТНОСТИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В статье представлены данные статистического анализа, проводившегося по результатам контроля состояния литых деталей подвижного состава. Обосновывается эффективность использования статистической информации совместно с акустико-эмиссионным методом при прогнозировании ресурса литых деталей.

Повышение надежности неразрушающего контроля (НК) ответственных деталей и узлов подвижного состава остается одной из важнейших задач безопасности процесса перевозок. При этом некоторые из этих деталей обладают весьма низкой контролепригодностью для большинства методов НК. К таким объектам, в частности, относятся литые детали тележки грузового вагона (боковые рамы и надрессорные балки) или детали автосцепного устройства (корпус, тяговый хомут).

Низкая контролепригодность этих деталей обусловлена рядом факторов:

- грубой поверхностью;
- наличием большого числа допустимых при производстве литейных дефектов;
- сложностью конструкции и большим количеством поверхностей, не доступных для сканирования по причине коробчатого сечения, узких отверстий и др.;
- допущениями, связанными с возможностью ремонта некоторых поверхностей сваркой или наплавкой.

Все эти факторы существенно ограничивают круг методов НК, которые можно использовать для оценки технического состояния таких деталей. С другой стороны, для литых деталей предусмотрен нормативный срок эксплуатации до 30 лет с возможностью продления этого времени еще до пяти лет при проведении дополнительных методов контроля. Обязательным при продлении срока эксплуатации является акустико-эмиссионный контроль литых деталей тележек. Однако, учитывая высокую чувствительность акустико-эмиссионного метода и большое число ложных зарегистрированных сигналов при его использовании, целесообразно подходить к решению проблемы оценки дефектности, достоверности получаемых результатов и надежности заключения о проведенной диагностике такого рода объектов, используя дополнительные источники информации об их состоянии. Наиболее доступными источниками полезной информации могут быть статистические данные о дефектности деталей данного типа и информация о результатах предыдущих плановых видов контроля.

Сбор статистической информации о дефектности боковых рам и надрессорных балок наталкивается на ряд дополнительных трудностей:

- все находящиеся в эксплуатации детали изготавливались из семи марок сталей;
- за это время проводили более пяти раз конструктивные изменения деталей;
- существуют скрытые производственные факторы, которые по прошествии времени сложно установить, такие, например, как вид сырья, из которого отливали детали, и ряд других.

Тем не менее попробуем классифицировать основные виды дефектов, встречающихся в литых деталях. К ним относят: усталостные трещины; износы трущихся поверхностей; литейные дефекты в особо нагруженных сечениях и выходящие на поверхность, остальные типы дефектов встречаются существенно реже.

С точки зрения математической статистики очевидно, что важными характеристиками будут являться четыре основных параметра: вероятность разрушения детали в период между двумя плановыми диагностиками — F_t ; вероятность разрушения детали данной модели из конкретной марки стали за то же время — F_t^k и параметры, характеризующие достоверность оценки — репрезентативности выборок обеих представленных вероятностей. Каждая вероятность определяется интегрированием плотностей $f(t)$ и $f_k(t)$ соответственно в интервалах времени, назначаемых между последовательными диагностиками. В свою очередь, плотность вероятности представляет собой алгебраическую сумму плотностей:

$$f(t) = \sum_{i=1}^n f_i(t) + \sum_{\substack{j=n \\ i=1, \\ j \neq i}}^{i=n-1} f_{ij}(t) + \dots + f_{ij\dots n}(t),$$

где $f_i(t)$ — плотность вероятности отказа детали в результате развития i -го типа дефекта, а $f_{ij\dots n}(t)$ — плотность вероятности отказа детали в результате взаимного влияния нескольких типов дефектов в междиагностический период.

Таким образом, определяя распределения каждого $f_i(t)$ и т. д., получаем картину потенциально опасных участков для каждого междиагностического периода, имея возможность индивидуального подбора для каждого из них индивидуальных критериев дефектности.

В работе отражены данные статистического анализа, который проводился по предоставленным двумя вагонными депо ЗСЖД результатам контроля технического состояния боковых рам и надрессорных балок. Общая выборка составляет 35 041 деталь, из них 21 465 боковых рам и 13 576 надрессорных балок. Данные по количеству деталей (рис. 1), проходящих через вагонное депо, свидетельствуют, что основная масса деталей — 94,7 % — имеет срок эксплуатации от 5 до 27 лет. Максимальное количество деталей приходится на 10-й год эксплуатации (около 8,5 % деталей), а большая часть эксплуатирующихся деталей (более 55 %) имеет срок службы от 8 до 16 лет.

В целом очевидно, что распределение контролируемых на вагоноремонтных предприятиях деталей по времени эксплуатации определяется двумя основными факторами: во-первых, использованием выборочного контроля в течение первых десяти лет эксплуатации и во-вторых, интенсивностью восстановления деталей с изнашиваемыми поверхностями. Учитывая, что реально распределение контролируемых деталей по времени эксплуатации носит непрерывный характер, то

предположим — детали подвергаются НК (без учета восстановления) по гамма-распределению, как наиболее общему. Тогда, чтобы определить параметры распределения, следует исключить восстанавливаемые детали, а для этого целесообразно решать систему уравнений для гамма-распределения, взяв данные за первые 7 лет эксплуатации (когда износы не достигают критических значений, требующих восстановления) и за последний год эксплуатации, когда восстановление не проводится ввиду его экономической неэффективности. При определении уравнения плотности распределения рабочих деталей по времени эксплуатации следует учитывать фактор самостоятельного восстановления, имеющий собственное распределение.

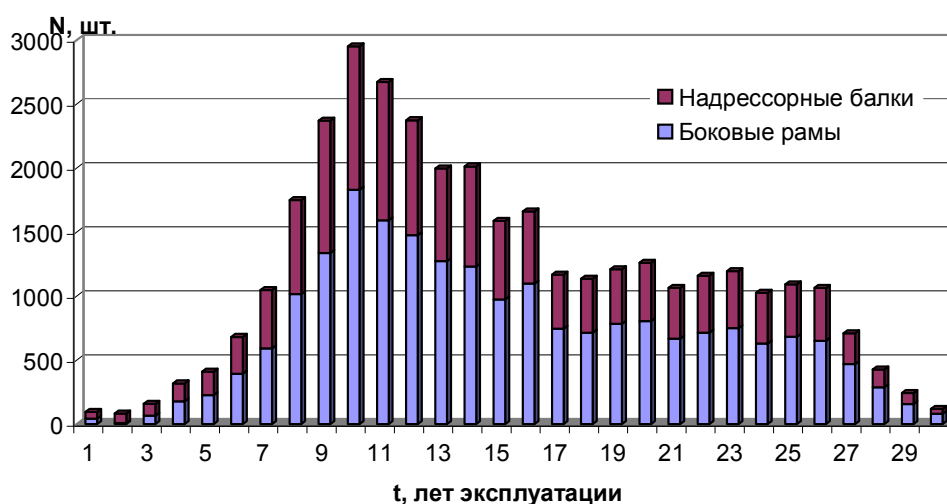


Рис. 1. Распределение литых деталей тележек, подвергающихся неразрушающему контролю в вагонном депо, по времени эксплуатации

Аналогичная задача встает при определении уравнения плотности вероятностей выхода деталей в зависимости от развития того или иного дефекта. При этом задача усложняется ввиду неравномерного распределения разных типов дефектов по участкам детали.

Среди всей выборки прошедших осмотр и НК литых деталей 1166 оказались не пригодными для дальнейшей эксплуатации (3,33 % от общего числа), при этом бракованными оказались 529 боковых рам (2,46 %) и 637 надрессорных балок (4,69 %). Распределение соотношения бракованных деталей от общего числа деталей данного срока эксплуатации приведено на рис. 2. При этом процентное соотношение бракованных деталей определяли по отношению к числу проконтролированных деталей, имеющих одинаковый срок эксплуатации.

Характерной особенностью первых четырех лет эксплуатации является снижение с каждым годом числа деталей, имеющих недопустимые дефекты. Это объясняется следующим. Во-первых, наличие литых деталей, бракуемых в начале эксплуатации, имеет максимум в первые два года и затем снижается. Причиной этого можно назвать высокий уровень скрытых производственных дефектов. Во-вторых, это связано с тем, что пропущенные или скрытые дефекты быстро выявляются при текущих осмотрах на пунктах технического обслуживания и в дальнейшем повышается процент боковых рам и надрессорных балок, не имеющих опасных дефектов.

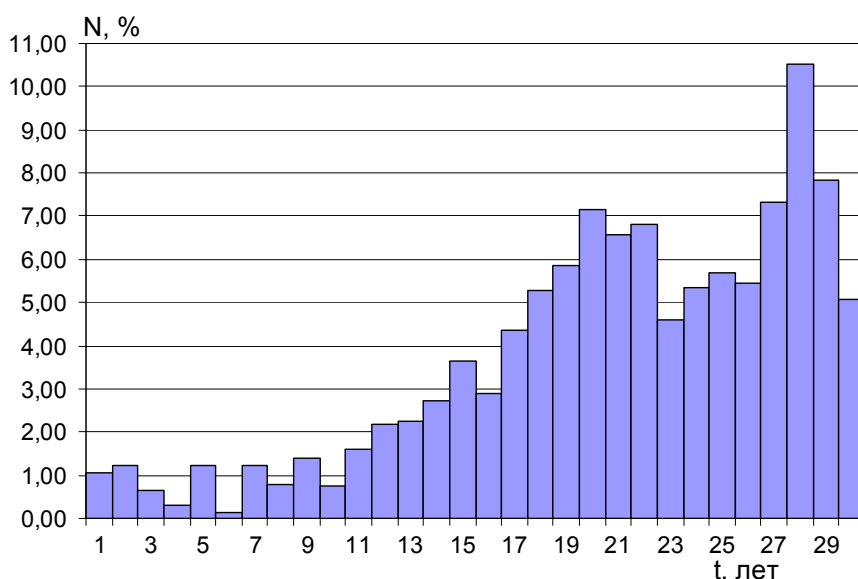


Рис. 2. Процентное содержание бракованных литых деталей от числа проконтролированных в зависимости от срока их эксплуатации

В целом распределение имеет два основных выраженных пика, связанных с износом (до 73 % забракованных боковых рам и 14 % надрессорных балок) и развитием усталостных трещин (до 18 % боковых рам и 67 % надрессорных балок). В меньшей степени влияние оказывает развитие дефектов на ремонтируемых участках (в первую очередь сваркой или наплавкой).

Полученные данные свидетельствуют о том, что с высокой точностью описать плотность распределения вероятности выхода деталей простой суммой гамма-распределений разных факторов и их совместного влияния не удастся. Существуют дополнительные факторы, вносящие в распределение дополнительные всплески или провалы. Эти факторы в большинстве своем объяснимы, например, годовые колебания в промежутке времени с 5-го по 11-й год эксплуатации вызваны неодинаковыми требованиями к деталям в ходе контроля при текущем (выпадающем на четные годы) и полном (выпадающем на нечетные годы по рис. 2) видах ремонта и диагностики соответственно. Поэтому влияние некоторых из этих факторов не следует учитывать. Те же годовые отклонения, которые являются объективными, можно описать в первом приближении с применением дельта-функций Дирака в качестве дополнительных членов суммы. Тогда обобщенное уравнение будет иметь вид:

$$f(t) = \sum_{i=1}^n f_i(t) + \sum_{\substack{i=1, \\ j \neq i}}^{i=n-1, j=n} f_{ij}(t) + \dots + f_{ij\dots n}(t) + k_n \delta(\xi_n + t),$$

где k_n — коэффициент; ξ_n — временной параметр, как правило, изменяющийся во времени, так как тот или иной выброс из суммы гамма-распределений чаще всего связан с конкретным недостатком производства за определенный период.

Обработка данных статистической выборки и расчет параметров распределения показывает, что обобщенная функция распределения плотности вероятности имеет четыре основных компонента, связанных с развитием: износов, усталостных трещин, взаимного их влияния и развития дефектов на участках,

ремонтируемых сваркой. Последний фактор существенное влияние оказывает на боковые рамы и почти не влияет на надрессорные балки. Компоненты дельта-функции на обобщенном распределении в рамках допустимой погрешности, но они могут играть более весомую роль при анализе более узких распределений, например по заводу-изготовителю.

Полученная статистическая информация может быть использована для определения достоверности прогнозирования ресурса литых деталей.

Выводы

1. Анализ статистического распределения дефектности и выхода из строя литых деталей тележек грузовых вагонов показывает, что его использование в качестве дополнительной информации при периодическом НК ведет к повышению надежности работы операторов.

2. Использование статистической информации совместно с результатами акустико-эмиссионного контроля позволит повысить достоверность прогнозирования остаточного ресурса этих деталей.

3. Статистическая оценка диагностики и достоверности ее результатов обосновывает дифференцированный подход к проблеме оценки результатов НК различных участков литых деталей.