

**Ермаков А.О.**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ

Предложен подход к определению предельного состояния железнодорожной техники на основе критерия недопустимости эксплуатации объекта с учетом оценки риска. Критерии предельных состояний должны быть заданы в технической документации на железнодорожную технику.

Ключевые слова: предельное состояние, критерий предельного состояния, железнодорожная техника, техническое состояние, отказ, износ.

1. Общие положения

Критерии предельного состояния используют для того, чтобы понять, когда необходимо временно или окончательно прекратить эксплуатацию объекта. При достижении предельного состояния объект может быть:

- направлен в ремонт для восстановления ресурса;
- выведен из эксплуатации (списан или передан для применения не по назначению) и заменен на новый;
- подвергнут реконструкции или модернизации.

Схема принятия решений в отношении объекта на основе критериев предельного состояния и их использование в течение срока службы приведены на рис. 1, где приняты следующие сокращения: ПС – предельное состояние объекта; ТУ – технические условия; НТД- нормативно-техническая документация.

Критерии предельного состояния, так же как и критерии отказов, устанавливают на стадии разработки для каждого вида объекта (его отдельных узлов, деталей). Здесь под объектом понимается продукция (железнодорожный подвижной состав, силовые трансформаторы, аппаратура железнодорожной электросвязи и т.п.), конструкции (мост, тоннель), территориально распределенные системы (участок контактной сети, система сигнализации, централизации и блокировки на перегонах и станциях и т.п.).

В соответствии с [1] для невосстанавливаемых объектов имеет место предельное состояние двух видов:

- 1) предельное состояние совпадает с неработоспособным состоянием (т.е. критерий предельного состояния совпадает с критерием отказа);

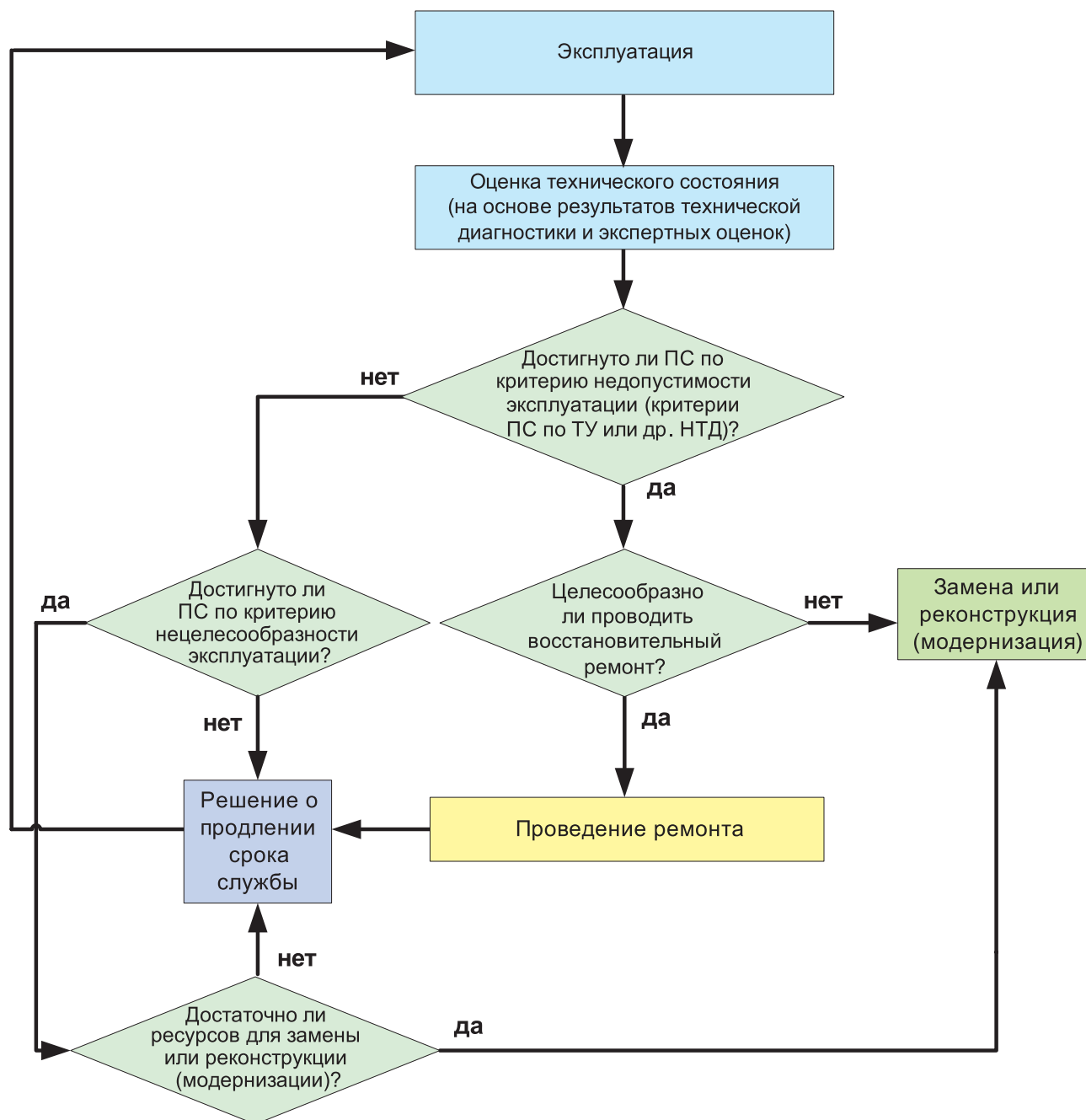


Рис. 1. Схема принятия решений в отношении объекта на основе критериев предельного состояния

2) второй вид предельного состояния обусловлен тем, что начиная с некоторого момента времени, дальнейшая эксплуатация еще работоспособного объекта оказывается недопустимой по безопасности или нецелесообразной по экономическим соображениям (например, в связи с моральным устареванием). Переход невосстанавливаемого объекта в предельное состояние второго вида происходит до потери объектом работоспособного состояния.

Для восстанавливаемых объектов выделяют два или более видов предельных состояний, например, дополнительно к указанным выше, предельное состояние, при котором требуется отправка объекта на капитальный ремонт.

Критерии предельного состояния должны характеризовать:

- недопустимость эксплуатации объекта на основе оценки риска;
- нецелесообразность эксплуатации объекта на основе оценки риска.

Эксплуатация недопустима в случае, когда не обеспечен требуемый уровень безопасности, т.е. риск эксплуатации объекта превышает допустимый уровень.

Нецелесообразность эксплуатации определяется снижением эффективности использования железнодорожной техники, что связано с увеличением стоимости жизненного цикла или моральным износом объекта.

2. Предельное состояние по критерию недопустимости дальнейшей эксплуатации

Как известно, риск – это сочетание вероятности (частоты) события и его последствий. В контексте определения предельного состояния под событием следует понимать отказ (опасный отказ) объекта или возникновение неисправностей (дефектов), при наличии которых эксплуатация не допускается. На протяжении срока службы риск эксплуатации имеет тенденцию постепенно увеличиваться в связи с ухудшением технического состояния объекта с течением времени. При этом проведение технического обслуживания и ремонта позволяет снизить частоту возникновения отказов (неисправностей) и соответственно снизить риск. Затем техническое состояние снова ухудшается и риск растет. Поэтому кривую значений риска в течение эксплуатации можно качественно представить в виде «пилообразной» кривой (рис. 2).

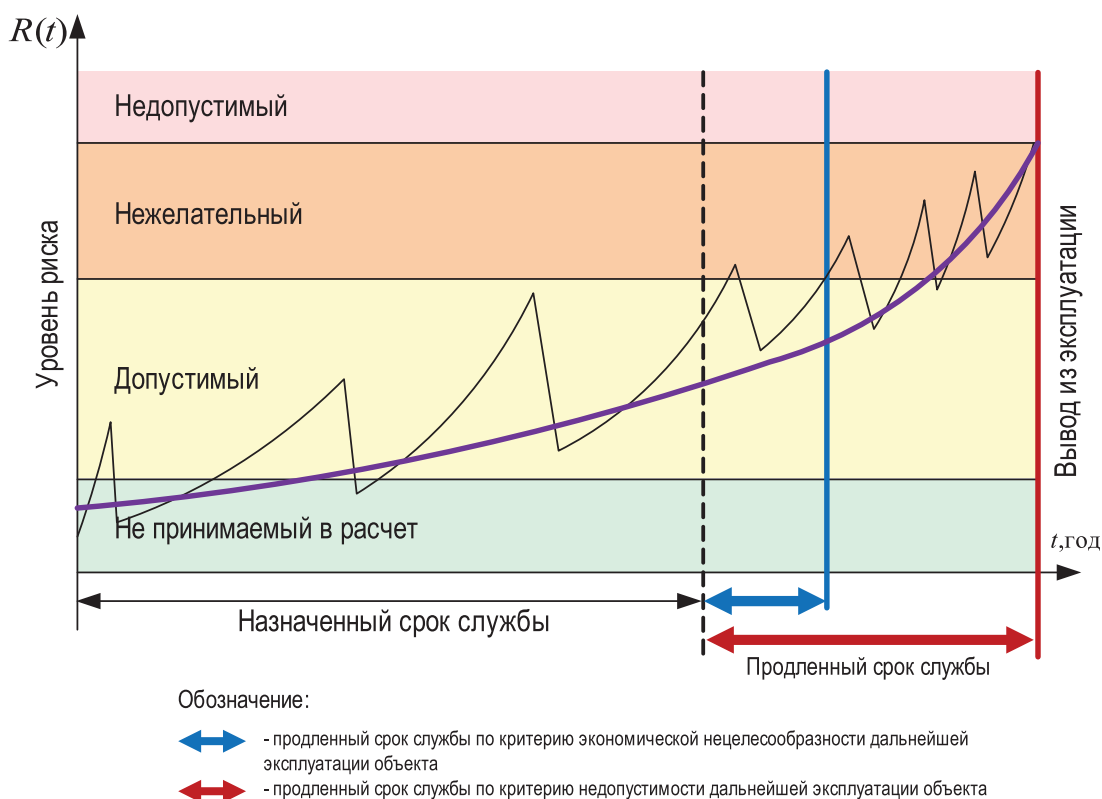


Рис. 2. Изменение уровня риска, связанного с функционированием объекта, в течение срока службы

На рис. 3 и 4 для примера приведены варианты изменения интенсивности отказов в течение срока службы для разных видов отказов и соответствующие им плотности распределения вероятности последствий. Шкала уровня рисков на рис. 2 и шкала интенсивностей отказов на рис. 3 выбраны в соответствии с [2].

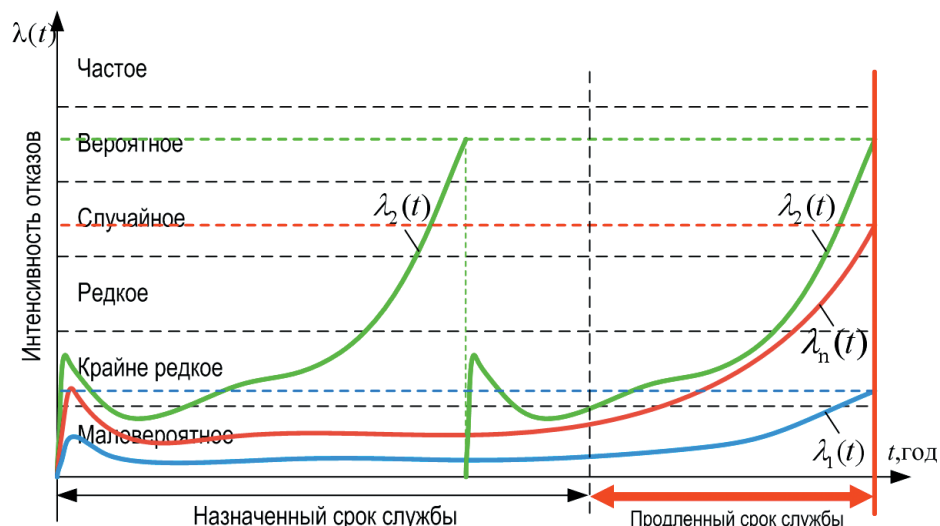


Рис. 3. Зависимости интенсивностей отказов от срока службы для различных видов отказов объекта

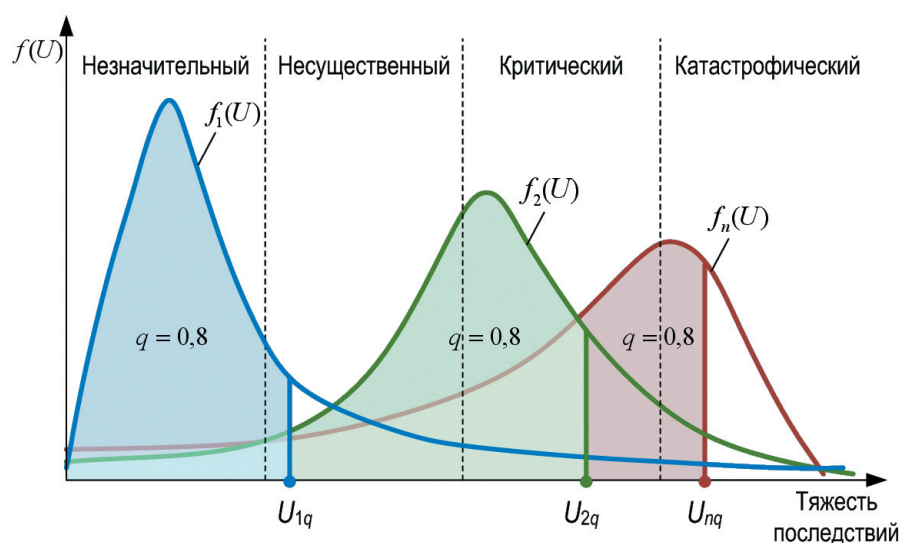


Рис. 4. Плотности распределения тяжести последствий для различных видов отказов объекта

Примечание – U_{1q} , U_{2q} , U_{3q} – квантили плотностей распределения тяжести последствий отказов различных видов объекта (они соответствуют значениям тяжести последствий для i -го вида отказов объекта, при котором соответствующая функция распределения вероятности тяжести последствий принимает заданное значение, например, 0,8).

Соответственно общий риск на протяжении срока службы определяется по выражению:

$$R(t) = U_{1q}\lambda_1(t) + U_{2q}\lambda_2(t) + \dots + U_{nq}\lambda_n(t) = \sum_{i=1}^n U_{iq}\lambda_i(t), \quad (1)$$

где U_{iq} – квантили плотностей распределения тяжести последствий отказов различных видов объекта;

$\lambda_i(t)$ – интенсивность отказов объекта i -го вида;

n – количество видов отказов.

Так как предельное состояние, по сути, отражает некий уровень технического состояния объекта, когда необходимо приостановить его эксплуатацию, то следует рассмотреть более подробно вероятностную составляющую риска, которая представляет собой интенсивность отказов (опасных отказов) или частоту возникновения неисправностей (дефектов), при наличии которых эксплуатация не допускается.

Таким образом, одним из критериев предельного состояния является заданная допустимая величина интенсивности отказов объекта.

Для того чтобы ее определить необходимо знать из-за чего и как возникают те или иные отказы, т.е. выявить причины и механизмы возникновения отказов.

Также критерии предельного состояния представляют собой набор параметров (характеристик) железнодорожной техники и их предельных значений, а в некоторых случаях качественных признаков, которые отражают техническое состояние железнодорожной техники.

Если предельное значение параметра технического состояния установлено в нормативной документации, дополнительной регламентации предельной величины не требуется.

Если предельное значение параметра технического состояния не установлено в нормативной документации, то его должен определить разработчик в зависимости от:

- условий эксплуатации, в том числе вида и режима эксплуатационного нагружения;
- закономерностей механизмов повреждений;
- практики эксплуатации и др.;

и привести это значение в технической (проектной) документации на объект.

3. Основные факторы, учитываемые при определении критериев предельного состояния

Критерии предельного состояния объекта зависят от совокупности факторов, воздействию которых подвергаются объект или его отдельные элементы в процессе их работы.

Совокупность факторов можно разделить на следующие группы:

- 1) силовое нагружение;
- 2) термомеханическое нагружение;
- 3) воздействие, обусловленное трением;
- 4) коррозионно-эрозионное воздействие;
- 5) электромагнитное воздействие.

Силовое нагружение представляет собой воздействие на элемент конструкции внешней сосредоточенной и распределенной силы, вызывающей внутри материала соответствующее противодействие в форме распределенных по сечению внутренних сил. Внешним проявлением силового нагружения является деформация.

Термодинамическое нагружение обусловлено тепловым удлинением элемента конструкции при ограничении его деформирования.

Воздействие, обусловленное трением, возникает при относительном движении элементов конструкции. Внешним проявлением является изменение размера и (или) формы сопрягаемых деталей в результате изнашивания.

Коррозионно-эрозионное воздействие представляет собой постепенное изменение размеров элемента конструкции или свойств материала в результате физико-химических взаимодействий элемента конструкции с внешней агрессивной средой.

Электромагнитное воздействие обусловлено протеканием электрического тока или наличием внешних электромагнитных излучений.

Чаще всего на объект действуют факторы из нескольких групп сразу.

Силовое и термомеханическое нагружения характеризуют критерий конструктивной прочности. Численное значение этого критерия описывается оптимальным распределением напряженно-деформированного состояния конструкции, т.е. такого уровня напряжений во всех сечениях и точках деталей, который бы исключил возможность образования и рост дефектов (например, трещин). Численные значения этого критерия определяются расчетами и могут контролироваться с помощью методов неразрушающего контроля.

Также критерий предельного состояния в данном случае может быть установлен в виде предельно допустимых значений деформаций, например, предельно допустимый размер трещины.

Основы расчетов на прочность, а также их специфику с учетом рассматриваемых конструкций железнодорожной техники приведены в следующих стандартах [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Критерий предельного состояния по воздействию, обусловленному трением, обычно задается в виде предельного значения износа детали по [11].

Предельным состоянием элементов конструкции, подвергающихся при эксплуатации коррозионно-эрозионному разрушению, является уменьшение размера элемента конструкции до предельной (расчетной) величины, ниже которой не обеспечивается необходимый запас его несущей способности,

Таблица 1. Влияние факторов нагружения на возникновение предельного состояния некоторых объектов и элементов инфраструктуры железнодорожного транспорта

Перечень объектов	Перечень элементов	Силовое нагружение	Термомеханическое нагружение	Трение (изнашивание)	Коррозионно-эрозионное воздействие	Электромагнитное воздействие
Хозяйство электрификации и электроснабжения						
Контактная сеть	1. Металлические опоры	+			+	+
	2. Изоляторы контактной сети					+
	3. Контактный провод			+	+	+
Тяговая подстанция	1. Силовой трансформатор	+				+
	2. Высоковольтные вводы					+
	3. Выключатель переменного тока					+
Хозяйство пути и сооружений						
Верхнее строение пути	1. Рельсы железнодорожные для звеньев и бесстыкового пути	+	+	+	+	
	2. Шпалы железобетонные для различных типов креплений	+			+	
	3. Щебеночный балласт	+				
Хозяйство автоматики и телемеханики						
1. Дроссель-трансформатор						+
2. Электропривода (стрелочные, автошлагбаумов, УЗП)						+
3. Релейные, батарейные шкафы и модули для размещения аппаратуры СЦБ		+		+	+	+

или предельные размеры повреждений. Следует учитывать то обстоятельство, что глубина отдельных локальных повреждений (исключая трещины) может значительно превышать среднюю глубину повреждений (вплоть до сквозного разрушения) и не нарушать несущей способности элемента. Допустимое количество (доля) повреждений на поверхности и их размеры должны регламентироваться в зависимости от характера нагрузки на элементы и свойств применяемых материалов.

В части влияния электромагнитных воздействий предельное состояние связано с изменением свойств материалов и характеризуется изменением электрических параметров работы устройств ниже (выше) предельно допустимых.

В таблице 1 на примере трех хозяйств инфраструктуры железнодорожного транспорта показано, какие ключевые факторы влияют на возникновение предельного состояния ключевых объектов и элементов этих хозяйств инфраструктуры.

Заключение

Предложенный подход к определению предельного состояния объектов железнодорожной техники по критерию недопустимости эксплуатации объекта с учетом оценки рисков позволит на основе данных о фактическом техническом состоянии объекта разработать, с учетом экономических факторов, правила принятия одного из следующих решений:

- направить в ремонт для восстановления ресурса;
- вывести из эксплуатации (списать или передать для применения не по назначению) и заменить на новый;
- подвергнуть реконструкции или модернизации.

Автор выражает благодарность д.т.н., профессору И.Б. Шубинскому за помощь, оказанную при подготовке данной статьи.

Литература

1. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
2. ГОСТ Р 54505-2011. Управление рисками на железнодорожном транспорте.
3. ГОСТ Р 55050-2012 Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний.
4. ГОСТ Р 55495-2013 Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам.
5. ГОСТ Р 55513-2013 Локомотивы. Требования к прочности и динамическим качествам.
6. ГОСТ 25.001-78 Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Комплекс нормативно-технической и руководящей документации. Общие положения.
7. ГОСТ 25.101-83 Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов.
8. ГОСТ 25.504-82 Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости.
9. ГОСТ 27609-88 Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Основные положения и требования к проведению и нормативно-техническому обеспечению.
10. ГОСТ 27674-88 Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения.
11. ГОСТ 30479-97 Обеспечение износостойкости изделий. Методы установления предельного износа, обеспечивающего требуемый уровень безопасности. Общие требования.