

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463-192

Л. А. МУРАДЯН^{1*}, В. Ю. ШАПОШНИК^{2*}, А. А. МИЩЕНКО^{3*}

^{1*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, эл. почта leon59@bk.ru, ORCID 0000-0003-1781-4580

^{2*}Отраслевая научно-исследовательская лаборатория «Вагоны», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, эл. почта v.sh91@mail.ru, ORCID 0000-0003-4701-6491

^{3*}Отраслевая научно-исследовательская лаборатория «Вагоны», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, ORCID 0000-0002-5543-8435

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСАМОХОДНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Цель. Научная работа предусматривает: 1) подтверждение как заявленных технических характеристик вагонов и их модификаций, так и показателей безотказной работы в течение межремонтного времени или наработки; 2) усовершенствование методологических подходов оценки эксплуатационных характеристик новой и модернизируемой техники железнодорожного транспорта на примере несамоходного подвижного состава, а именно – железнодорожных грузовых вагонов; 3) решение научно-прикладной проблемы по оценке эксплуатационных характеристик новой и модернизируемой железнодорожной техники. **Методика.** Рассмотрены основные методологические подходы к оценке эксплуатационных характеристик на примере несамоходного подвижного состава, а именно – железнодорожных грузовых вагонов. Проводится анализ безотказности вагона, который рассматривается как сложная механическая система, где все элементы системы соединены последовательно, при этом каждый из элементов включает m последовательно соединённых деталей. Отказ каждой расчетной части приведет к отказу вагона. Таким образом, вагон является системой без резервирования. **Результаты.** Усовершенствована методика оценки эксплуатационных характеристик грузовых вагонов в подконтрольной эксплуатации с учетом особенностей вагонов нового поколения. Уточнены: длительность проведения испытаний, периодичность осмотра контрольной группы вагонов, контролируемые параметры вагона, причины досрочного прекращения подконтрольной эксплуатации. Выявленные в процессе подконтрольной эксплуатации отказы разделены по их характеру. **Научная новизна.** Авторами предложена методика оценки эксплуатационных характеристик железнодорожной техники в опытной эксплуатации на примере грузовых вагонов нового поколения. **Практическая значимость.** Результаты работы позволяют оценить эксплуатационные характеристики новой и модернизируемой техники железнодорожного транспорта при проведении эксплуатационных испытаний

Ключевые слова: надежность; отказ; вероятность безотказной работы; эксплуатационные испытания; подконтрольная эксплуатация; вагоны нового поколения

Введение

Процесс создания новой техники, как правило, сопровождается выполнением комплекса теоретических и экспериментальных исследований создаваемого образца, изделия по определению его функциональных характеристик. В первую очередь разработчиков и пользователей интересуют эксплуатационные качества, так как именно эти качества определяют основные свойства изделия в эксплуатации. Поэтому не только представляет интерес, а имеет особую актуальность научно-прикладная проблема по оценке эксплуатационных характеристик новой и модернизируемой техники, а для железнодорожной техники, от которой зависит не только безопасность движения, но жизнь и здоровье людей, оценка показателей в эксплуатации имеет особо важное значение. Поэтому далее рассмотрим основные методологические подходы к оценке эксплуатационных характеристик на примере несамходного подвижного состава, а именно железнодорожных грузовых вагонов.

Парк грузовых вагонов Украины требует пополнения его вагонами нового поколения с осевыми нагрузками до 25 тонн. Производство таких вагонов освоено в Украине на передовых предприятиях, таких как ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» (КВБЗ), ПАО «Азовмаш», ПАО «Днепровагонмаш» (ДВМ) и др. Разработано множество моделей вагонов и их модификаций, которые требуют подтверждения как заявленных технических характеристик, так и показателей безотказной работы в течение межремонтного времени или наработки.

Цель

Усовершенствование методологических подходов оценки эксплуатационных характеристик новой и модернизируемой техники железнодорожного транспорта. Решение научно-прикладной проблемы по оценке эксплуатационных характеристик новой и модернизируемой железнодорожной техники.

Методика

Вагон относится к обслуживаемым, ремонтируемым, восстанавливаемым объектам, работающим в эксплуатации свой технический

ресурс [1]. Надежность вагона характеризуется показателями безотказности, долговечности и ремонтпригодности [6, 14]. Вопросам оценки надежности техники и железнодорожного подвижного состава посвящено большое количество как научно-технической литературы [6–8, 11, 14, 23 и др], так и нормативных документов [4, 5, 15]. Далее рассмотрим основные показатели, характеризующие безотказность работы.

При анализе безотказности вагон рассматривается как сложная механическая система, состоящая из n элементов. Будем считать, что все элементы системы соединены последовательно, при этом каждый из элементов включает m последовательно соединенных деталей. Отказ каждой расчетной части приведет к отказу вагона. Таким образом, вагон является системой без резервирования.

В качестве расчетных частей целесообразно рассматривать отдельные функциональные узлы: кузов, тележка, автотормозное оборудование, ударно-тяговое устройство и др. С учетом взаимной независимости отказов расчетных частей и отдельных деталей (элементов) вероятность безотказной работы вагона в течение срока (наработки) T определяется по формуле (1) [10, 15]:

$$P_g(T) = \prod_1^n P_i(T) = \prod_1^n \prod_1^m P_{ij}(T), \quad (1)$$

где $P_i(T)$ – вероятность безотказной работы за срок T i -й расчетной части; $P_{ij}(T)$ – вероятность безотказной работы за срок T j -й детали i -й расчетной части.

Для упрощения введем предположение о независимости разных видов отказов, тогда суммарная вероятность безотказной работы элемента определяется как произведение частных вероятностей

$$P_{ij}(T) = \prod_1^k P_{ij}^f(T), \quad (2)$$

где k – число учитываемых видов отказов; P_{ij}^f – вероятность отказа вида f данного элемента.

Отказ вагона заключается в нарушении его работоспособности (рис. 1).

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

В неработоспособном состоянии вагон (элемент) не может использоваться для выполнения перевозной работы и временно (или окончательно – в случае предельного состояния) исключается из рабочего парка для производства ремонта (или списания).

Оценка показателей надежности, определяется по результатам испытаний на основании статистического учета по количеству выявленных неисправностей. По условиям и месту проведения работ, испытания делятся на типы, представленные на рис. 2.

ОТКАЗ ВАГОНА	
изменение технических характеристик вагона, его деталей или узлов, приводящее к нарушению его работоспособного состояния	
явный отказ выявляется штатными методами в процессе технического содержания вагонов в рамках действующей технологии	скрытый отказ выявление штатными средствами в процессе технического содержания вагонов невозможно или затруднено без изменения действующей технологии технического обслуживания

Рис. 1. Проявление отказа вагона

Fig. 1. Display of car refusal



Рис. 2. Типы испытаний в зависимости от условий и места проведения работ

Fig. 2. Test types depending on conditions and test place

Для определения и оценки действительных эксплуатационных показателей надежности вагонов и их узлов при работе в реальных условиях предусмотрены эксплуатационные испытания (рис. 3).

Основными видами эксплуатационных испытаний, которым подвергаются образцы деталей, узлов и в целом единицы подвижного

состава железных дорог, являются опытная и подконтрольная эксплуатация [19, 20]. При этом решаются следующие основные задачи [21]:

- выявление закономерностей возникновения отказов в зависимости от наработки;
- определение коэффициентов готовности и использования в условиях эксплуатации;
- определение (уточнение) критериев предельного состояния и ресурса;
- расчет действительной потребности в запасных частях, расходов на эксплуатацию;
- установление ремонтпригодности;
- выявление типичных повреждений, различных видов отказов, относительной доли каждого вида в общем их числе;
- статистическая оценка стоимости ремонтов и затрат на поддержание в работоспособном состоянии от начала эксплуатации и до истечения гарантийного периода, до истощения объявленного ресурса, до списания;
- подтверждается соответствие условиям и требованиям эксплуатации;
- определяется ресурс между плановыми видами ремонта;
- накапливаются и систематизируются данные о надежности.

В период подконтрольной эксплуатации проводятся периодические осмотры (осмотры вагонов подконтрольной группы, с целью выявления скрытых отказов и отказов вследствие изнашивания) и внеплановые осмотры (осмотры с целью подтверждения факта отказа).

Проведение контроля технических параметров производится в условиях вагонного депо или пункта текущего ремонта полигона обращения вагонов, которые осуществляют подъемку вагонов, выкатку и разборку тележек, освидетельствование колесных пар и буксовых узлов. Внеплановые осмотры и контроль параметров неисправных вагонов и тележек проводятся на месте выявления неисправности (пункте технического обслуживания) или в вагонном депо.

Выявленные в процессе подконтрольной эксплуатации отказы различаются по характеру и приведены на рис. 4.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ



Рис. 3. Виды эксплуатационных испытаний

Fig. 3. Kinds of the maintenance testing



Рис. 4. Типы характера отказов

Fig. 4. Types of refusal nature

Целью подконтрольной эксплуатации также является подтверждение безопасности вагона в период его эксплуатации:

- от постройки до первого деповского ремонта;

- между деповскими ремонтами;
- от постройки до капитального ремонта;

Задачами подконтрольной эксплуатации являются:

- определение показателей безотказности вагона (осредненный параметр потока отказов и гамма-процентная наработка на отказ) и сравнение полученных показателей со среднесетевыми значениями;

- определение наработки вагона (пробега или срока службы) от постройки до планового ремонта или между плановыми ремонтами, обеспечивающими показатели безотказности вагона.

В процессе осмотра и контроля технических параметров:

- выявляют наличие механических и коррозионных повреждений на вагоне;

- проверяют наличие всех элементов конструкции;

- производят замеры зазоров и износов;

- проверяют параметры тормозной системы и автосцепки.

Продолжительность подконтрольной эксплуатации, на примере полувагона нового поколения, составит – до достижения пробега 500 тыс. км после постройки или 4 года эксплуатации. Периодичность проведения плановых осмотров и контроля параметров [9, 13]:

- первый – по достижении пробега 50–70 тыс. км после постройки или через год эксплуатации;

- второй – по достижении пробега 140–160 тыс. км после постройки или два года после проведения первого осмотра;

- третий – по достижении пробега 250–270 тыс. км после постройки или через три года эксплуатации;

- четвертый и далее – ежегодно до достижения пробега 500 тыс. км или срока эксплуатации 4 года (до первого планового ремонта).

При контроле технических параметров несамоходных единиц подвижного состава необходимо проконтролировать следующие параметры, приведенные в табл.1 [3, 16–18].

Таблица 1

Table 1

Контролируемые параметры вагонов (на примере полувагона нового поколения [8, 22])**Checking wagon parameters (new generation gondola model) [8, 22])**

Вид проверки	Узел подвижного состава	Контролируемые параметры
Визуальная проверка	Кузов	<ul style="list-style-type: none"> – состояние кузова в целом и его основных несущих элементов, в том числе на наличие механических и коррозионных повреждений, прогибов и деформаций (хребтовая, шкворневые, концевые и промежуточные балки), боковых и торцевых стен (стоек и обшивки), крышек люков, наличие деформаций боковых и торцевых стен от распорных нагрузок, трещин в листах, балках и сварных соединениях; – состояние поручней и подножек составителя, лестниц, кронштейнов для крепления оборудования, обшивки, петель крышек люков и деталей их крепления; – состояние всего периметра верхней обвязки и элементов крепления грузов внутри кузова (увязочных колец и скоб); – наличие остатков груза и места его скопления, определяется необходимость проведения дополнительной зачистки
	Тележка	<p>До подъема кузова:</p> <ul style="list-style-type: none"> – наличие трещин литых деталей (боковых рам и надрессорных балок); – состояние рессорного подвешивания (наличие у пружин изломов, отколов, трещин, следов смыкания витков, наминов, потертостей); – целостность адаптера и резинометаллической прокладки адаптера; – наличие просадки скользуна (при появлении зазора между износостойкой пластиной скользуна и ответной пластиной на скользуне кузова); – положение клина относительно надрессорной балки по нижней метке индикатора, которая не должна быть выше уровня верхней поверхности надрессорной балки; – ослабление гаек крепления фрикционных планок; – состояние соединительных диагональных стержней и их креплений на боковой раме (трещины, сдвиг, деформация); – закрепление тормозных башмаков на цапфах триангелей <p>После подъема кузова:</p> <ul style="list-style-type: none"> – наличие износов на верхней износостойкой планке скользуна (по глубине индикаторов); – наличие трещин, расслоения и т.п. дефектов износостойкого полимерного вкладыша подпятника; – состояние предохранительных тросов триангеля
	Колесная пара	<ul style="list-style-type: none"> – ослабление болтов торцевого крепления кассетного подшипника на оси колесной пары; – наличие подтеков и выбросов смазки в зонах уплотнения и на колесах; – наличие трещин, сколов и деформаций наружных колец подшипников и уплотнений (после выкатки колесных пар); – наличие трещин в приободной зоне дисков колес, а также неисправностей на поверхностях катания

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Продолжение табл. 1
Continuation of table 1

Вид проверки	Узел подвижного состава	Контролируемые параметры
Визуальная проверка	Адаптер Тормозное оборудование	<ul style="list-style-type: none"> – наличие трещин и сколов адаптеров; В отпущенном состоянии <ul style="list-style-type: none"> – наличие всех элементов тормозной системы: <ul style="list-style-type: none"> а) приборов торможения и отпуска тормозов; б) всех элементов воздухопровода пневматической части тормозной системы и арматуры соединительной; в) элементов механической части тормозной системы (тяги, рычаги, затяжки, оси, втулки, шплинты, предохранительные устройства; г) изделий крепежных (болтов, гаек, шайб, стопорных планок шплинтов и т.д.); – отсутствие повреждений (трещин, изломов, сколов, износов, вмятин и т.д.): <ul style="list-style-type: none"> а) приборов торможения и отпуска тормозов; б) арматуры соединительной; в) элементов механической части тормоза; – наличие заваров тормозных башмаков, повышенных износов тормозных колодок и втулок рычагов ТРП механической части тормоза
Проверка посредством измерений	Тормозное оборудование Колесные пары Автосцепное устройство	<ul style="list-style-type: none"> В отпущенном состоянии: <ul style="list-style-type: none"> – зазор между упором вилки авторежима и контактной планкой, который не должен превышать 3 мм; – зазор между колодками и поверхностями катания колес – должен составлять от 5 до 8 мм; – износ тормозных колодок, измерением толщины колодок на расстоянии 50 мм от торцов колодок; – контрольные размеры авторегулятора и его привода; – зазора между наконечником триангеля и заклепкой (безрезьбовое крепление тормозного башмака на триангеле). В заторможенном состоянии: <ul style="list-style-type: none"> – выход штока поршня тормозного цилиндра; – отсутствие утечек сжатого воздуха – прокат (износ обода); – толщина гребня; – толщина обода; – проверяется наличие неисправностей на поверхностях катания колес – проверку высоты горизонтальной оси автосцепки от уровня головок рельсов; – проверку отклонения автосцепки на центрирующей балочке; – проверку износов контура зацепления, а также работоспособности механизма сцепления; – на корпусе адаптера

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Окончание табл. 1

End of table 1

Вид проверки	Узел подвижного состава	Контролируемые параметры
Проверка посредством измерений	Тележка	<p>После выкатки тележки, до ее разборки:</p> <ul style="list-style-type: none"> – проверяется уровень возвышения контактной поверхности демпфера над верхней частью ролика скользуна; <p>После выкатки тележки, после разборки:</p> <ul style="list-style-type: none"> – производятся замеры высот пружин рессорного подвешивания и скользунков, – износ отверстия под шкворень; – после снятия полимерного вкладыша и оценки его технического состояния определяется износ опорной поверхности подпятника надрессорной балки по измеренной глубине; – определяется наличие износов между наклонными плоскостями надрессорной балки и на поверхности износостойкой планки; – проверяется состояние фрикционных клиньев, при наличии повреждений, трещин и износов вертикальной поверхности

Условием завершения испытаний является получение полного объема необходимых данных. Досрочное прекращение подконтрольной эксплуатации происходит по следующим причинам [2, 12]):

- выявление в процессе эксплуатации или при проведении периодического осмотра опасного отказа производственного или конструктивного характера;

- дважды за срок подконтрольной эксплуатации выявленное превышение осредненного параметра потока отказов вагона и/или его узлов, полученного по результатам периодического осмотра, среднесетевых значений для вагона данного типа;

- выявление по результатам периодического осмотра у любого вагона подконтрольной группы гамма-процентной наработки (срока службы и/или пробега) меньшей, чем срок службы и/или пробег вагона согласно ТУ.

По окончании подконтрольной эксплуатации составляются рекомендации по внедрению в серийное производство.

Результаты

Усовершенствована методика оценки эксплуатационных характеристик грузовых вагонов в подконтрольной эксплуатации с учетом

особенностей вагонов нового поколения. Уточнены длительность проведения испытаний, периодичность осмотра контрольной группы вагонов, контролируемые параметры вагона, причины досрочного прекращения подконтрольной эксплуатации.

Научная новизна и практическая значимость

Результаты работы позволяют оценить эксплуатационные характеристики новой и модернизируемой техники железнодорожного транспорта при проведении эксплуатационных испытаний.

Предложена методика оценки эксплуатационных характеристик железнодорожной техники в опытной эксплуатации на примере грузовых вагонов нового поколения.

Выводы

Таким образом, рассмотрены методологические основы по оценке эксплуатационных характеристик подвижного состава железных дорог на примере грузовых вагонов нового поколения, что дает основание для использования полученных результатов в практической деятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Болотин, М. М. Отказы и срок службы грузового вагона / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Мир трансп. – 2012. – № 2. – С. 152–161.
2. Верещагин, С. Б. Планирование и оценка результатов испытаний колёсных и гусеничных машин : учеб. пособие / С. Б. Верещагин. – Москва : МАДИ (ГТУ). – 2008. – 60 с.
3. ГОСТ 22235–2010. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузо-разгрузочных и маневровых работ. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 18 с.
4. ГОСТ 27.002–89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Москва : Изд-во стандартов, 1990. – 38 с.
5. ГОСТ Р 27.002–2009. Надёжность в технике. Термины и определения. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 28 с.
6. Капица, М. И. Рациональная взаимосвязь между затратами на содержание локомотива и его надёжностью / М. И. Капица, И. В. Холоша // Транспорт : сб. науч. пр. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2001. – Вип. 8. – С. 62–65.
7. Киселев, В. И. Конструкционная надёжность узлов локомотива / В. И. Киселев, Г. В. Строков // Мир трансп. – 2013. – № 4. – С. 72–76.
8. Коротенко, М. Л. Безопасность от схода колеса с рельсов и совершенствование конструкцій рельсовых экипажей : монография / М. Л. Коротенко, И. В. Клименко, В. Я. Панасенко. – Днепропетровск : Маковецкий, 2013. – 224 с.
9. Лагута, В. В. Постановка задачи определения продолжительности зон Н-характеристики при расчетах на надёжность технических объектов / В. В. Лагута, М. И. Капица // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. імені акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 22. – С. 129–131.
10. Машиностроение: энциклопедия : в 40 т. Т. IV–3. Надёжность машин / В. В. Клюев, В. В. Болотин, Ф. Р. Соснин [и др.] ; под общ. ред. В. В. Клюева. – Москва : Машиностроение, 2003. – 592 с.
11. Морозов, В. В. Надёжность пассажирских вагонов / В. В. Морозов, М. Н. Шлыгин // Ж.-д. трансп. – 2001. – № 2. – С. 59–61.
12. Мурадян, Л. А. Исследование литых железнодорожных колес в эксплуатации производства компании «Griffin wheel company» (США) / Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник // Бюл. науч. работ Брянск. фил. МИИТ : сб. науч. работ / Моск. гос. ун-т путей сообщения, Брянск. фил. – Брянск : Дизайн-Принт, 2015. – Вып. 7, № 1. – С. 65–70.
13. Мурадян, Л. А. Определение количества объектов для проведения эксплуатационных испытаний вагонной техники / Л. А. Мурадян // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2013. – Вип. 139. – С. 83–87.
14. Мямлин, С. В. Влияние параметров рессор буксового подвешивания на надёжность грузовых вагонов / С. В. Мямлин // Залізн. трансп. України. – 2001. – № 3. – С. 21–22.
15. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ГосНИИВ : ВНИИЖТ, 1996. – 317 с.
16. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №60178. Літературний твір наукового характеру «Програма та методика дослідження експлуатаційних властивостей боковин візків з використанням пружних елементів, що зменшують не обресорені частини візків вантажних вагонів» / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, А. А. Міщенко ; зареєстр. 17.06.2015. – 1с.
17. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №58830. Літературний твір наукового характеру «Програма та методика експлуатаційних випробувань вантажних напіввагонів моделі 12-7023 на візках моделі 18-7020» / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, А. А. Міщенко ; зареєстр. 26.02.2015. – 1с.
18. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №60176. Літературний твір наукового характеру «Програма і методика експлуатаційних випробувань колес грузових вагонов» / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, В. Г. Анофрієв ; зареєстр. 17.06.2015. – 1с.
19. Эксплуатационные испытания полувагонов нового поколения / О. М. Савчук, В. К. Бруякин [и др.] // Вагонный парк. – 2009. – № 5/6. – С. 30–32.
20. Эксплуатационные испытания полувагонов нового поколения / О. М. Савчук, В. К. Бруякин, Л. А. Мурадян [и др.] // Вагонный парк. – 2009. – № 7/8. – С. 8–11.
21. Myamlin, S. V. Investigation of dynamic characteristics of gondola cars on perspective bogies / S. V. Myamlin, V. M. Bubnov, Ye. O. Pysmennyi // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 5 (53). – С. 126–137. doi: 10.15802/stp2014/30789.
22. Railway freight car truck ZK1 // Chinese Railways Equipment. – 2013. – № 7. – P. 56–59.
23. Rausand, M. System reliability theory: models, statistical methods, and applications / M. Rausand, A. Hoyland. – 2nd ed. – Hoboken, New Jersey : Wiley & John Sons, Inc., 2004. – 636 p.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Л. А. МУРАДЯН^{1*}, В. Ю. ШАПОШНИК^{2*}, А. А. МИЩЕНКО^{3*}

^{1*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, ел. пошта leon59@bk.ru, ORCID 0000-0003-1781-4580

^{2*}Галузева науково-дослідна лабораторія «Вагони», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, ел. пошта v.sh91@mail.ru, ORCID 0000-0003-4701-6491

^{3*}Галузева науково-дослідна лабораторія «Вагони», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, ORCID 0000-0002-5543-8435

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСАМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Мета. Наукова робота передбачає: 1) підтвердження як заявлених технічних характеристик вагонів та їх модифікацій, так і показників безвідмовної роботи протягом міжремонтного часу або напрацювання; 2) удосконалення методологічних підходів оцінки експлуатаційних характеристик нової та модернізованої техніки залізничного транспорту на прикладі несамохідного рухомого складу, а саме – залізничних вантажних вагонів; 3) рішення науково-прикладної проблеми з оцінки експлуатаційних характеристик нової та модернізованої залізничної техніки. **Методика.** Розглянуто основні методологічні підходи щодо оцінки експлуатаційних характеристик на прикладі несамохідного рухомого складу, а саме – залізничних вантажних вагонів. Проводиться аналіз безвідмовності вагона, який розглядається як складна механічна система, де всі елементи системи з'єднані послідовно, при цьому кожен із елементів включає m послідовно сполучених деталей. Відмова кожної розрахункової частини призведе до відмови вагона. Таким чином, вагон є системою без резервування. **Результати.** Удосконалено методику оцінки експлуатаційних характеристик вантажних вагонів у підконтрольній експлуатації із урахуванням особливостей вагонів нового покоління. Уточнено: тривалість проведення випробувань, періодичність огляду контрольної групи вагонів, контрольовані параметри вагона, причини дострокового припинення підконтрольної експлуатації. Виявлені в процесі підконтрольної експлуатації відмови розділені за їх характером. **Наукова новизна.** Авторами запропоновано методику оцінки експлуатаційних характеристик залізничної техніки у дослідній експлуатації на прикладі вантажних вагонів нового покоління. **Практична значимість.** Результати роботи дозволяють оцінити експлуатаційні характеристики нової та модернізованої техніки залізничного транспорту при проведенні експлуатаційних випробувань.

Ключові слова: надійність; відмова; ймовірність безвідмовної роботи; експлуатаційні випробування; підконтрольна експлуатація; вагони нового покоління

L. A. MURADIAN^{1*}, V. YU. SHAPOSHNYK^{2*}, A. A. MISCHENKO^{3*}

^{1*}Dep. «Car and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 19, e-mail leon59@bk.ru, ORCID 0000-0003-1781-4580

^{2*}Industry research laboratory «Cars», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 19, e-mail v.sh91@mail.ru, ORCID 0000-0003-4701-6491

^{3*}Industry research laboratory «Cars», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 19, ORCID 0000-0002-5543-8435

METHODOLOGICAL FUNDAMENTALS OF DETERMINATION OF UNPOWERED ROLLING STOCK MAINTENANCE CHARACTERISTICS

Purpose. The paper involves: 1) confirmation of the technical characteristics of cars and their modifications, as well as indicators of unailing work probability during the time between overhauls or service hours; 2) improving the methodological approaches to assess the maintenance characteristics of new and modernized equipment of rail transport on the example of not self-propelled rolling stock, namely, railway freight cars; 3) solution of scientific and applied problems in assessment the maintenance characteristics of the new and modernized railway equipment. **Methodology.** The basic methodological approaches to the assessment of the maintenance characteristics on the example of not self-propelled rolling stock, namely, railway freight cars were considered. The analysis of the reliability of the car, which is considered as a complex mechanical system, where all system elements are connected in series, wherein each element includes m is serially connected parts. The failure of each part of the calculation will result in refusal of the car. Thus, the car is a system without redundancy. **Findings.** The evaluation technic of the maintenance characteristics of freight cars in controlled operation with taking into account the features of the new generation of cars was improved. Specified: the duration of the tests, the frequency of inspection of the control group of cars controlled by the parameters of the car, the reasons for the early termination of controlled operation. Identified failures in the process of controlled operation are divided according to their nature. **Originality.** The authors proposed a method of assessing the maintenance characteristics of railway equipment in trial operation as an example of a new generation of freight cars. **Practical value.** The results allow assessing the maintenance characteristics of new and modernized rail transport equipment during the maintenance test.

Keywords: reliability; refusal; unailing work probability; maintenance testing; control maintenance; new car generation

REFERENCES

1. Bolotin M.M., Vorotnikov V.G. Otkazy i srok sluzhby gruzovogo vagona [Failures and service life of a freight car]. *Mir transporta – World of Transport*, 2012, no. 2, pp. 152-161.
2. Vereshchagin S.B. *Planirovaniye i otsenka rezultatov ispytaniy kolesnykh i gusenichnykh mashin* [Planning and evaluation of results of tests of wheeled and tracked vehicles]. Moscow, MADI (GTU) Publ., 2008. 60 p.
3. *GOST 22235-2010. Vagony gruzovyye magistralnykh zheleznykh dorog kolei 1520 mm. Obshchiye trebovaniya po obespecheniyu sokhrannosti pri proizvodstve pogruzo-razgruzochnykh i manevrovyykh rabot* [State Standart 22235-2010. Freight cars of main railways of track 1520 mm. General requirements on ensuring safety in the production of loading-unloading and shunting works]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 18 p.
4. *GOST 27.002-89. Nadezhnost v tekhnike. Osnovnyye ponyatiya. Terminy i opredeleniya* [State Standart 27.002-89. Reliability in technique. Basic concepts. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 38 p.
5. *GOST R 27.002-2009. Nadezhnost v tekhnike. Terminy i opredeleniya* [State Standart R 27.002-2009. Reliability in technique. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 28 p.
6. Kapitsa M.I., Kholosha I.V. Ratsionalnaya vzaimosvyaz mezhdu zatratami na sodержaniye lokomotiva i yego nadezhnostyu [Rational relationship between the cost of maintaining the locomotive and its reliability]. *Transport – Transport*, 2001, issue 8, pp. 62-65.
7. Kiselev V.I., Stokov G.V. Konstruktsionnaya nadezhnost uzlov lokomotiva [Structural reliability of the locomotive units]. *Mir transporta – World of Transport*, 2013, no. 4, pp. 72-76.
8. Korotenko M.L., Klimenko I.V., Panasenko V.Ya. *Bezopasnost ot skhoda koleasa s relsov i sovershenstvovaniye konstruktsiy relsovykh ekipazhey* [Security from derailling and improving the design of rail vehicles]. Dnepropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2013. 224 p.
9. Laguta V.V., Kapitsa M.I. Postanovka zadachi opredeleniya prodolzhitelnosti zon N-kharakteristiki pri raschetakh na nadezhnost tekhnicheskikh obektov [The problem of determining the length of the zones h-characteristics in calculating the reliability of technical objects]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 22, pp. 129-131.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

10. Klyuev V.V., Bolotin V.V., Sosnin F.R. *Mashinostroeniye. Entsiklopediya. Tom IV-3. Nadezhnost mashin* [Engineering. Encyclopedia. Volume IV-3. Reliability of machines]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 2003. 592 p.
11. Morozov V.V., Shlygin M.N. Nadezhnost passazhirskikh vagonov [Reliability of passenger cars]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2001, no. 2, pp. 59-61.
12. Muradyan L.A., Shaposhnik V.Yu. Issledovaniye litykh zheleznodorozhnykh koleis v ekspluatatsii proizvodstva kompanii «Griffin wheel company» (SShA) [The study of cast railway wheels in maintenance of manufacturing company «Griffin wheel company» (USA)]. *Byuleten nauchnykh rabot Bryanskogo filiala MIITa*. [Bulletin of the scientific work of the Bryansk branch of MIIT]. Bryansk, Dizayn-Print Publ., 2015, issue 7, no. 1, pp. 65-70.
13. Muradyan L.A. Opredeleniye kolichestva obektov dlya provedeniya ekspluatatsionnykh ispytaniy vagonnoy tekhniki [The determination of the number of objects for carrying out the operational tests of car technology]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainy derzhavnoi akademii zaliznychnoho transport* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport]. Kharkiv, 2013, issue 139, pp. 83-87.
14. Myamlin S.V. Vliyaniye parametrov resor buksovogo podveshivaniya na nadezhnost gruzovykh vagonov [The influence of parameters of springs axle-box hanging on the reliability of freight cars]. *Zaliznychnyy transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2001, no. 3, pp. 21-22.
15. *Normy rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Norms for calculation and design of cars of Ministry of Railways of 1520 mm track (self-propelled)]. Moscow, GosNIIV-VNIIZhT Publ., 1996. 317 p.
16. Miamlin S.V., Muradian L.A., Shaposhnyk V.Yu., Mishchenko A.A. *Literaturnyi tvir naukovoho kharakteru «Prohrama ta metodyka doslidzhennia ekspluatatsiinykh vlastyvostei bokovyn vizkiv z vykorystanniam pruzhnykh elementiv, shcho zmenshuiut ne obresoreni chastyny vizkiv vantazhnykh vahoniv»* [Literary work of a scientific nature «Program and methodology of the study the operational properties of the sidewalls of trucks with the use of elastic elements, reduce not sprung parts of bogies for freight cars»]. Certificate UA. no. 60178. 1 p.
17. Miamlin S.V., Muradian L.A., Shaposhnyk V.Yu., Mishchenko A.A. *Literaturnyi tvir naukovoho kharakteru «Prohrama ta metodyka ekspluatatsiinykh vyprobuvan vantazhnykh napivvahoniv modeli 12-7023 na vizkakh modeli 18-7020»* [Literary work of a scientific nature «Program and methodology of operational tests freight cars models 12-7023 boggie model 18-7020»]. Certificate UA. no. 58830. 1 p.
18. Miamlin S.V., Muradian L.A., Shaposhnyk V.Yu., Anofriiev V.H. *Literaturnyi tvir naukovoho kharakteru «Prohrama i metodika ekspluatatsionnykh ispytaniy koleis gruzovykh vagonov»* [Literary work of a scientific nature «Program and methodology of operational tests of the railcar's wheels»]. Certificate UA. no. 60176. 1 p.
19. Savchuk O.M., Bruyakin V.K., Muradyan L.A., Mishchenko A.A., Mozheyko Ye.R. Ekspluatatsionnyye ispytaniya poluvagonov novogo pokoleniya [Performance tests of the new generation gondola cars]. *Vagonnyy park – Car Fleet*, 2009, no. 5/6, pp. 30-32.
20. Savchuk O.M., Bruyakin V.K., Muradyan L.A., Mishchenko A.A., Mozheyko Ye.R. Ekspluatatsionnyye ispytaniya poluva-gonov novogo pokoleniya [Performance tests of the new generation gondola cars]. *Vagonnyy park – Car Fleet*, 2009, no. 7/8, pp. 8-11.
21. Myamlin S.V., Bubnov V.M., Pysmennyi Ye.O. Investigation of dynamic characteristics of gondola cars on perspective bogies. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 5 (53), pp. 126-137. doi: 10.15802/stp2014/30789.
22. Railway freight car truck ZK1. *Chinese Railways Equipment*, 2013, no. 7, pp. 56-59.
23. Rausand M., Hoyland A. System reliability theory: models, statistical methods, and applications. Hoboken, New Jersey, Wiley & John Sons, Inc. Publ., 2004. 636 p.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. С. В. Мямлиным (Украина); д.т.н., проф. И. Э. Мартыновым (Украина)

Поступила в редколлегию 11.11.2015

Принята к печати 14.01.2016