

Определение возможности увеличения межремонтных нормативов вагонов-хопперов (цементовозов)

С. В. ПЕТРОВ¹, Г. В. РАЙКОВ¹, А. В. ВАСИЛЬЕВ¹, С. Е. ГОНЧАРОВ², А. Н. КЕМЕЖ²

¹ Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

² Акционерное общество «Первая Грузовая Компания» (АО «ПГК»), Москва, 105064, Россия

Аннотация. Представлены основные результаты аналитических работ, направленных на определение возможности увеличения до трех лет календарной продолжительности эксплуатации вагонов-хопперов (цементовозов) в рамках комбинированного критерия вывода в плановый ремонт. Сделаны выводы, что для цементовозов принадлежности АО «ПГК» с межремонтными нормативами 110 (160) тыс. км/2 года определена целесообразность апробации возможности увеличения межремонтного календарного срока до трех лет с целью сбора опытных данных о результатах их эксплуатации на увеличенном интервале межремонтной наработки.

Ключевые слова: вагоны-хопперы; цементовозы; виды отказов; показатели надежности; стоимость жизненного цикла

Введение. В течение последнего времени производители железнодорожной техники проявляют активность в разработке и продвижении инновационной вагонной продукции, и в частности грузовых вагонов, обладающих перспективными техническими характеристиками и параметрами системы технического обслуживания и ремонта (далее — СТОиР) [1, 2, 3, 4]. Несмотря на активность производителей в данном направлении на сети железных дорог «Пространства 1520», наряду с инновационными моделями вагонов продолжают использоваться грузовые вагоны существующего эксплуатационного парка. В соответствии с «Положением о СТОиР грузовых вагонов» [5] цементовозы имеют межремонтные нормативы в рамках комбинированного критерия вывода в плановый ремонт — 110 (160) тыс. км, или 2 года, в то время как другие типы грузовых вагонов, укомплектованные аналогичными взаимозаменяемыми элементами, имеют несколько большие межремонтные нормативы в календарном исчислении — 110 (160) тыс. км, или 3 года. Конечно, вагоны-хопперы для перевозки цемента имеют ряд конструктивных особенностей, отличающих их от других типов вагонов, например, наличие механизма разгрузки и несимметричной тормозной рычажной передачи, а также отличительные особенности эксплуатации и использования данного рода вагонов под перевозку специфическо-

го груза — цемента, способного к затвердеванию на поверхности их составных частей. Тем не менее факт достаточно низкой интенсивности использования по пробегу цементовозов в межремонтном периоде (≈ 50 тыс. км) послужил предпосылкой для рассмотрения возможности увеличения до трех лет межремонтной календарной продолжительности эксплуатации цементовозов. С этой целью в рамках действующего Меморандума о научно-техническом сотрудничестве между АО «ВНИИЖТ» и АО «ПГК» перед институтом по заказу грузовой компании была поставлена одноименная задача.

В настоящее время выполнены:

- анализ структуры парка цементовозов АО «ПГК»;
- анализ реализуемой наработки цементовозов в межремонтном периоде;
- анализ видов и последствий отказов цементовозов;
- оценка и сопоставление условий эксплуатации цементовозов и универсальных крытых вагонов, используемых три года в межремонтном периоде;
- оценка тенденции изменения осредненного параметра потока отказов цементовозов по мере их наработки;
- натурное обследование группы цементовозов;
- оценка технического состояния наддрессорных баков группы цементовозов по параметрам, изменяющимся в ходе эксплуатации под влиянием процессов износа;
- оценка ожидаемого технико-экономического эффекта (далее — ТЭЭ) от изменения календарной периодичности ремонта цементовозов;
- формирование заключительных выводов о теоретической возможности увеличения до трех лет календарной продолжительности эксплуатации цементовозов в рамках комбинированного критерия периодичности проведения их планового ремонта.

«Анализ видов и последствий отказов — Failure Modes Effects Analysis (FMEA)». Данный метод [6, 7] является одним из инструментов менеджмента рисков в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011. «Менеджмент риска. Методы оценки риска». Применительно

Таблица 1

Категории тяжести последствий отказов цементовозов,
выявленных в пункте подготовки вагонов под погрузку (ППВ)

Table 1

The categories of severity of consequences of failures of cement carriers, identified in the point of preparation of cars for loading (PPCL)

№ п/п	Код*	Наименование отказов (неисправностей) цементовозов, выявленных на ППВ	Категория тяжести последствий
1	549	Неисправность погрузочно-разгрузочных механизмов специализированных вагонов	II
2	503	Обрыв сварного шва стойки	II
3	220	Несоответствие зазоров скользуна	II

* код неисправности по Классификатору [11].

Таблица 2

Категории тяжести последствий отказов цементовозов,
выявленных в пункте технического обслуживания (ПТО)

Table 2

The categories of severity of consequences of failures of cement carriers, identified in the maintenance point (MP)

№ п/п	Код*	Наименование отказов (неисправностей) цементовозов, выявленных на ПТО	Категория тяжести последствий
1	102	Тонкий гребень	II
2	106	Ползун на поверхности катания	II
3	107	Выщербина обода колеса	II
4	117	Неравномерный прокат по кругу катания выше нормы	II
5	157	Грение буксы по показаниям средств автоматизированного контроля	II
6	220	Несоответствие зазоров скользуна	II
7	205	Трещина/излом боковины (рамы)	III/IV
8	214	Излом пружин	II
9	225	Неисправность опорной прокладки в буксовом проеме	II
10	404	Неисправность тормозного цилиндра	II
11	549	Неисправность погрузочно-разгрузочных механизмов специализированных вагонов	II
12	613	Длина вертикальной/наклонной трещины на одной стенке более 100 мм между концами трещины	II
13	849	Сквозной коррозионный износ боковых стен и крыши более 25 % их поверхности	II

* код неисправности по Классификатору [11].

к цементовозам этот метод использован с целью выявления факторов (неисправностей-причин), сдерживающих возможность увеличения межремонтных сроков эксплуатации цементовозов с точки зрения критичности последствий их отказов.

На рис. 1 и 2 графически представлено долевое распределение неисправностей-причин поступления цементовозов в текущий ремонт вида ТР-1 и ТР-2 в первой половине 2016 г. Распределение составлено с учетом принципа Парето «20/80» [8, 9, 10] в порядке убывания долевого (процентного) вклада неисправностей в общий объем поступлений цементовозов в текущий ремонт. Таким образом, к числу прочих неисправностей ($\approx 20\%$) отнесены несоответствия технического состояния цементовозов, которые в наименьшей степени являются причинами поступления их в ТР-1, ТР-2.

В таблице А.1 ГОСТ 27.310–95 «Надежность в технике (ССНТ). Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения» приведена шкала возможных категорий тяжести последствий и характеристик последствий отказов технических объектов. В соответствии с данной таблицей основным выявляемым неисправностям цементовозов присвоены категории тяжести последствий (табл. 1 и 2).

С учетом возможности своевременного визуального обнаружения в условиях эксплуатации и последующего устранения вышеперечисленных неисправностей основная доля из них отнесена не к категории III или IV, а к категории II, т. к. своевременное обнаружение и устранение данных неисправностей в соответствии с действующими на инфраструктуре правилами эксплуатации вагонов позволяет исключить (снизить) опасные последствия их возникновения. Исключением является неисправность под кодом 205 — «Трещина/излом боковины (рамы)» с категорией тяжести последствий — III/IV, т. к. в эксплуатации ограничена возможность визуального распознавания данной неисправности, которая впоследствии может привести к сходу подвижного состава при негативных стечениях обстоятельств. Поэтому дополнительно был проведен анализ частоты выявления данного вида неисправности с сопоставлением с допустимыми значениями, полученными на основе требований надежности, предъявляемых к боковым рамам по ОСТ 32.183–2001 и ГОСТ 32400–2013. В табл. 3 сформулированы выводы о соответствии фактической среднегодовой частоты выявления неисправности по коду 205 действующим нормативным значениям по ОСТ 32.183–2001 и ГОСТ 32400–2013.

В ходе анализа видов и последствий отказов цементовозов не было выявлено факторов (неисправностей-причин), которые могут привести к катастрофическим последствиям при увеличении межремонтных сроков их эксплуатации. Данное обстоятельство связано с тем, что основные неисправности цементовозов и их составных частей имеют не критичную с точки зрения безопасности движения II категорию тяжести последствий, а среднегодовая частота возникновения

неисправности «Трещина/излом боковины (рамы)» с категорией III и IV не превышает установленных нормативных значений. Кроме того, своевременное выявление и устранение данных неисправностей предусмотрено действующей СТОиР грузовых вагонов.

Анализ и сопоставление условий эксплуатации цементовозов и крытых вагонов. Цементовозы и универсальные крытые вагоны эксплуатационного парка с цельнометаллическим кузовом содержат в комплектации однотипные элементы конструкции (за исключением отдельных конструкторских решений элементов кузова), в том числе: тележки в сборе (тип 2 по ГОСТ 9246–2013), автосцепные устройства (СА-3), тормозное оборудование со стандартными элементами, несущие элементы рамы, изготовленные из стандартных марок сталей. В настоящее время накоплен достаточный опыт практического применения упомянутых типовых элементов в комплектации универсальных крытых вагонов с межремонтными нормативами 3 года/110 (160) тыс. км, превышающими нормативы цементовозов, численно равные 2 года/110 (160) тыс. км. С целью установления возможности перенесения практического опыта эксплуатации типовых составных элементов крытых вагонов с межремонтными нормативами, равными 3 года/110 (160) тыс. км, на аналогичные элементы цементовозов проведен настоящий анализ, в ходе которого выполнено сопоставление условий эксплуатации цементовозов и универсальных крытых вагонов.

Для сопоставления условий эксплуатации цементовозов и крытых вагонов приняты показатели:

– *произведенная тонно-километровая работа* $\bar{A}_{\text{т-км}}(\Delta t)$ в течение заданного отчетного периода (рис. 3). Данный показатель характеризует интенсивность использования вагонов с учетом объема перевозимого груза и реализованного пробега;

Таблица 3

Среднегодовая частота выявления неисправности по коду 205 – «Трещина/излом боковины (рамы)»

Table 3

The average annual frequency of the fault finding by code 205 – "Crack/fracture of the side frame (frame)"

Год*	Среднегодовая частота выявления неисправности «205», $[10^{-3} \text{ г}^{-1}]$	Нормативное значение среднегодовой частоты отказов боковых рам, определенное на основе требований НТД, $[10^{-3} \text{ г}^{-1}]$		Вывод о соответствии нормативному значению
		ОСТ 32.183–2001	ГОСТ 32400–2013	
2015	1,559	не более 3,125	не более 1,563	соответствие
2016	1,337	не более 3,125	не более 1,563	соответствие

* для 2016 г. приведена прогнозная оценка среднегодовой частоты по результатам обработки статистических данных за первое полугодие 2016 г.

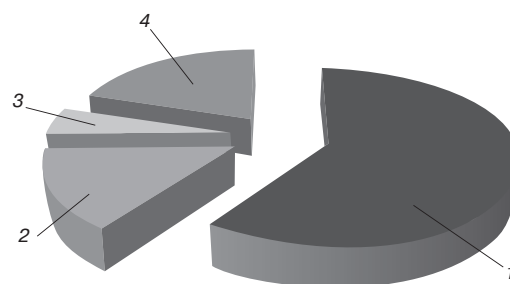


Рис. 1. Долевое распределение неисправностей-причин проведения ТР-1 цементовозов в первом полугодии 2016 г.: 1 – неисправность погрузочно-разгрузочных механизмов цементовозов (60 %); 2 – обрыв сварного шва стойки (15 %); 3 – несоответствие зазоров скользуна (5 %); 4 – прочие (20 %)

Fig. 1. Fractional distribution of faults-reasons for conducting TR-1 for cement carriers in the first half of 2016: 1 – malfunction of loading and unloading mechanisms of cement carriers (60 %); 2 – breakage of the welded seam of the rack (15 %); 3 – mismatches of gaps between the slips (5 %); 4 – other (20 %)

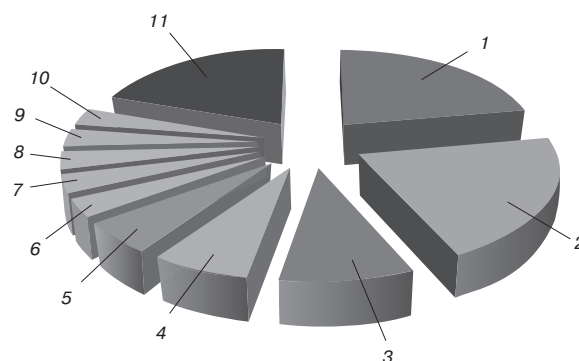


Рис. 2. Долевое распределение неисправностей-причин проведения ТР-2 цементовозов в первом полугодии 2016 г.: 1 – тонкий гребень (22 %); 2 – выщербина обода колеса (21,3 %); 3 – ползун на поверхности катания (9,5 %); 4 – неравномерный прокат по кругу катания выше нормы (6,8 %); 5 – претензии к качеству выполнения депоовского ремонта (5,3 %); 6 – неисправность опорной прокладки в буксовом проеме (3,2 %); 7 – повреждение на путях организаций-клиентов (3,2 %); 8 – грение буксы по показаниям средств автоматизированного контроля (3,1 %); 9 – трещина/излом боковины (рамы) (3,1 %); 10 – несоответствие зазоров скользуна (2,9 %); 11 – прочие (19,6 %)

Fig. 2. Fractional distribution of faults-reasons for conducting TR-2 for cement carriers in the first half of 2016: 1 – thin flange (22 %); 2 – chip of the wheel tread (21,3 %); 3 – slider on the surface of rolling (9,5 %); 4 – uneven rolling around the running circle above the norm (6,8 %); 5 – claims to the quality of performance of depot repairs (5,3 %); 6 – malfunction of a support pad in a pedestal opening (3,2 %); 7 – damage on the routes of client organizations (3,2 %); 8 – heating of the axle box according to the indications of automated control means (3,1 %); 9 – crack/fracture of the sidewall (frame) (3,1 %); 10 – inconsistency of gaps between the slips (2,9 %); 11 – other (19,6 %)

– *удельное число отцепок в ТР-1 (ТР-2) $N_{\text{отц}}^{\text{уд}}(\Delta t_i)$, приходящееся на 1 вагон в отчетном периоде (рис. 4). Данный показатель косвенно характеризует как уровень восстановления работоспособности вагонов при плановых видах ремонта, так и интенсивность истощения ими ресурса.*

Расчет $\bar{A}_{\text{т-км}}(\Delta t)$ осуществлен по формуле:

$$\bar{A}_{\text{т-км}}(\Delta t_i) = P_{\text{зг}} \cdot l_{\text{тр}} \cdot n_{\text{тр.рейсов}}(\Delta t_i), \quad (1)$$

где $P_{\text{зг}}$ — средний уровень загрузки вагона в грузевом рейсе, рассчитанный для заданного отчетного периода, т/ваг; $l_{\text{тр}}$ — средняя дальность груженого рейса в рассматриваемом отчетном периоде, км; $n_{\text{тр.рейсов}}(\Delta t_i) = \frac{\Delta t_i}{T_{\text{обр}}}$ — число груженых рейсов в отчетном

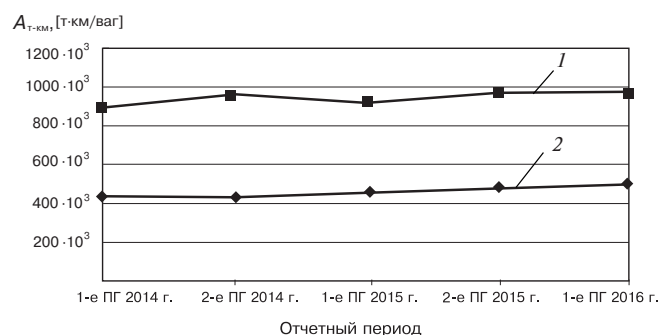
периоде, где Δt_i — величина i -го отчетного периода, численно равная одному полугодию (180 суток), сут; i — индекс отчетного периода (например, 1-е полугодие 2014 г., 2-е полугодие 2014 г. и т. д.); $T_{\text{обр}}$ — среднее время оборота вагонов в рассматриваемом отчетном периоде, сут.

Величина $N_{\text{отц}}^{\text{уд}}(\Delta t_i)$ определена по формуле:

$$N_{\text{отц}}^{\text{уд}}(\Delta t_i) = \frac{n(\Delta t_i)}{N_{\text{ваг}}}, \quad (2)$$

где $n(\Delta t_i)$ — общее число отцепок вагонов в ТР-1 (ТР-2) в течение рассматриваемого отчетного периода, Δt_i , ед.; $N_{\text{ваг}}$ — общее число вагонов в эксплуатации в отчетном периоде, по которым проведен учет статистических данных, ед.

Интенсивность использования цементовозов по тонно-километровой работе в отчетных периодах в среднем в два раза меньше, чем универсальных крытых вагонов, укомплектованных аналогичными типовыми элементами (рис. 3). При этом удельное число отцепок цементовозов в ТР-2 в отчетных периодах в среднем в 3,2 раза меньше, чем крытых вагонов, что косвенно свидетельствует о более интенсивном темпе истощения ресурса крытых вагонов по сравнению с цементовозами (рис. 4). Данные обстоятельства позволяют сделать вывод о том, что в комплектации це-



Обозначение: ПГ — полугодие

Рис. 3. Тенденция изменения во времени произведенной тонно-километровой работы ($A_{\text{т-км}}$) цементовозов и универсальных крытых вагонов:

1 — универсальные крытые вагоны; 2 — цементовозы

Notation: ПГ — half year

Fig. 3. The trend in time of the produced ton-kilometer work ($A_{\text{т-км}}$) of cement carriers and versatile covered cars:
1 — versatile covered cars; 2 — cement carriers

ментовозов допустима в опытном порядке эксплуатация в течение 3-х лет/110 (160) тыс. км однотипных элементов конструкции данных вагонов, таких как тележки, колесные пары, буксовые узлы, автосцепные устройства. При этом ожидаемым является то, что при существующей интенсивности использования цементовозов АО «ПГК» в их комплектации данные типовые элементы будут эксплуатироваться в течение идентичных межремонтных нормативов (3 года/110 (160) тыс. км) в более «щадящих условиях» (менее интенсивно).

Оценка показателей надежности цементовозов. В ходе аналитических работ оценка показателей надежности была проведена с учетом следующих положений:

1. Для оценки надежности принят показатель — «Осредненный параметр потока отказов».

2. Приняты следующие критерии отказов цементовозов и их составных частей:

а) наличие неисправности, выявленной в пункте подготовки вагонов под погрузку (ППВ) и требующей устранения в ходе ТР-1;

б) наличие неисправности, выявленной в пункте технического обслуживания (ПТО) и требующей устранения в ходе ТР-2;

в) наличие неисправности, выявленной на ППВ или ПТО и требующей устранения в ходе ТР-1 или ТР-2 соответственно.

3. Оценка надежности проведена:

а) для цементовозов в сборе без дифференциации по причинам отказов;

б) для цементовозов в сборе с дифференцированным учетом отказов их составных частей.

4. Оценка надежности проведена для отдельных однородных групп цементовозов, сформированных с учетом следующих критериев:

а) цементовозы, эксплуатируемые в межремонтном периоде после деповского ремонта (ДР) с фактическим сроком службы до проведения первого капитального ремонта (КР) (не более 12 лет);

б) цементовозы, эксплуатируемые в межремонтном периоде после ДР с фактическим сроком службы после проведения первого КР (более 12 лет);

в) цементовозы, эксплуатируемые в межремонтном периоде непосредственно после проведенного КР.

5. Оценка надежности цементовозов в межремонтном периоде проведена для интервалов с шагом, равным одному полугодию.

На рис. 5 в качестве примера графически представлены результаты расчета «осредненного параметра потока отказов» цементовозов без дифференциации по причинам отказов с учетом совокупных поступлений вагонов в ТР-1 и ТР-2.

Результаты оценки надежности цементовозов показали, что тенденции изменения «осредненного пара-

метра потока отказов» цементовозов в межремонтном периоде эксплуатации достаточно точно аппроксимируются возрастающей линейной зависимостью, что является закономерным с точки зрения надежности технических объектов. На прогнозируемом интервале, т. е. на третьем году эксплуатации цементовозов, не ожидается резкого критичного увеличения параметра потока отказов цементовозов. Учитывая выводы о недоиспользовании отведенного норматива пробега цементовозов и наличие опыта эксплуатации типовых составных частей в течение трех лет в межремонтном периоде, можно сделать следующий вывод:

– увеличение календарной продолжительности эксплуатации цементовозов до трех лет в рамках комбинированного критерия их вывода в плановый ремонт не должно повлиять на резкое изменение установленных прогнозных значений осредненного параметра потока отказов. Тем не менее увеличение календарной продолжительности эксплуатации цементовозов в межремонтном периоде неизбежно приведет к увеличению общей доли их отцепок в ТР-1 и ТР-2, о чем свидетельствуют прогнозные значения осредненного параметра потока отказов, что повлияет на работу сети и экономическую эффективность увеличения межремонтных нормативов. В этой связи в ходе аналитических работ также был оценен ожидаемый технико-экономический эффект (ТЭЭ) от увеличения календарного срока эксплуатации цементовозов до трех лет в рамках комбинированного критерия их вывода в плановый ремонт. Данный расчет ТЭЭ учитывает полученные прогнозные значения осредненного параметра потока отказов цементовозов и актуальные сведения о стоимости проведения ТР-1, ТР-2, ДР и КР. Результаты расчета ТЭЭ приведены в завершающей части статьи.

Обобщенные результаты натурного обследования цементовозов. Натурное обследование группы вагонов-хопперов было проведено Уральским отделением АО «ВНИИЖТ».

Результаты натурного обследования в целом коррелируются с общим массивом статистических данных об отцепках цементовозов в течение межремонтного периода эксплуатации в ТР-1 и ТР-2, источником которых является автоматизированный банк данных парка вагонов (АБД ПВ) Главного вычислительного центра (ГВЦ) ОАО «РЖД».

По результатам проведенного визуального осмотра не было выявлено неисправностей цементовозов, препятствующих возможности увеличения до трех лет календарной продолжительности эксплуатации цементовозов в рамках комбинированного критерия вывода в ремонт. Для определения возможности зарождения скрытых отказов цементовозов, контролепригодность которых отсутствует в обычных усло-

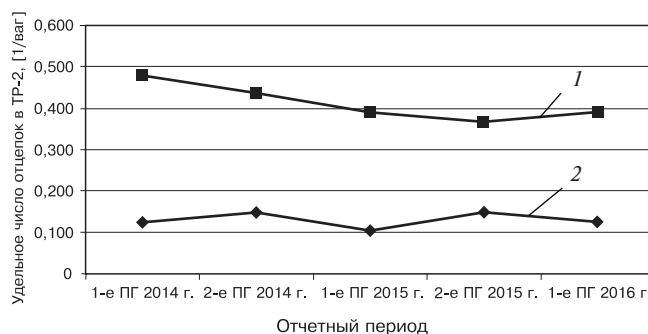


Рис. 4. Удельное число отцепок в ТР-2 цементовозов и универсальных крытых вагонов в целом:
1 — универсальные крытые вагоны; 2 — цементовозы
Fig. 4. Specific number of uncouplings in TR-2 for cement carriers and versatile covered cars in general:
1 — versatile covered cars; 2 — cement carriers

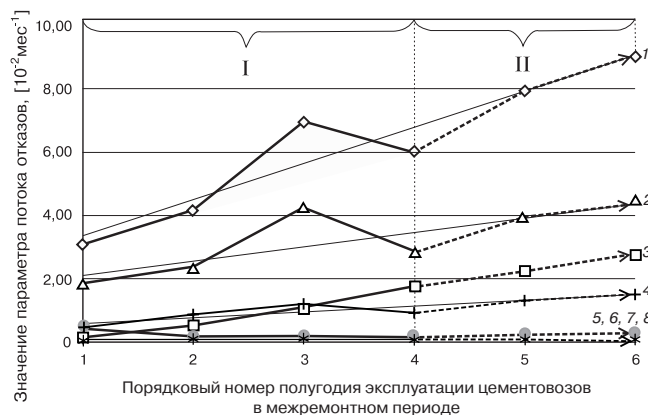


Рис. 5. Тенденция изменения осредненного параметра потока отказов цементовозов со сроком службы менее 12 лет в межремонтном периоде после депоовского ремонта с учетом поступлений в ТР-1 и ТР-2:
I — область фактических значений показателя надежности в течение двух лет эксплуатации в межремонтном периоде; II — область прогнозных значений показателя надежности с перспективой на третий год эксплуатации цементовозов;
1 — без дифференциации по причинам отказов; 2 — по причине неисправностей кузова; 3 — по причине неисправностей колесных пар; 4 — по причине неисправностей тележек; 5, 6, 7, 8 — по причине неисправностей тормозного оборудования, рамы, буксовых узлов, автосцепных устройств

Fig. 5. Trend of change in the average parameter of the failure flow of cement carriers with a service life of less than 12 years in the inter-repair period after depot repairs, taking into account entries in TR-1 and TR-2:
I — area of actual values of the reliability index during two years of operation during the interrepair period; II — area of forecast values of the reliability index with a prospect for the third year of operation of cement carriers; 1 — without differentiation for failure reasons; 2 — due to body failures; 3 — due to failure of wheel sets; 4 — due to malfunction of bogies; 5, 6, 7, 8 — due to malfunctions of brake equipment, frame, axle boxes, automatic couplers

виях эксплуатации, рекомендована дополнительная специальная организация сбора данных о параметрах ответственных элементов конструкции цементовозов на этапе их подконтрольной эксплуатации на увеличенном межремонтном нормативе.

Результаты контроля основных параметров над-рессорных балок (НБ). Контроль НБ был проведен

для цементовозов, поступающих в очередной плановый ремонт по истечении межремонтных календарных сроков, с целью выявления возможных скрытых отказов и несоответствий, контролепригодность которых отсутствует в обычных условиях эксплуатации.

В табл. 4 приведены результаты расчетов обобщающих (усредненных) характеристик, контролируемых параметров НБ, а также оценена вероятность достижения данными параметрами по истечении трех лет эксплуатации цементовозов предельно допустимых без ремонта значений. Оценка проведена с учетом положений приложения И «Единой программы и методики организации и проведения подконтрольной эксплуатации новых моделей грузовых вагонов и их составных частей», разработанного специалистами АО «ВНИИЖТ» и утвержденного Советом по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества [12].

Результаты сбора, обработки и анализа данных об изменении значений контролируемых параметров НБ по истечении двухлетнего межремонтного периода эксплуатации свидетельствуют об отсутствии для данных деталей факторов, препятствующих опытному увеличению их межремонтного периода эксплуатации до трех лет в комплектации цементовозов в рамках комбинированного критерия периодичности ремонта. При этом наиболее ожидаемыми для ремонта восстановлением по истечении трех лет эксплуатации цементовозов будут являться поверхности НБ, техническое состояние которых регламентировано размером К (диаметр внутреннего бурта подпятника), размером

Л (диаметр отверстия под шкворень) и разностью размеров $|A_1 - A_2|$ (несимметричность направляющих буртов призм НБ), т. к. вероятность (риск) превышения допустимого без ремонта значения для данных параметров по истечении трех лет эксплуатации составит приблизительно 0,39, 0,17 и 0,14 соответственно. Учитывая существующие риски преждевременного превышения безремонтных значений по отдельным параметрам НБ, необходимо в ходе апробации провести замеры основных параметров ответственных элементов конструкции цементовозов, контролепригодность которых отсутствует в обычных условиях эксплуатации.

Ожидаемый ТЭЭ. Расчет ТЭЭ от увеличения до трех лет периодичности ремонта цементовозов в рамках комбинированного критерия их вывода в плановый ремонт осуществлен на основе положений Методики [14] с учетом положений ГОСТ Р 27.202–2012 «Надежность в технике (ССНТ). Управление надежностью. Стоимость жизненного цикла».

Расчет ТЭЭ проведен в виде оценки изменения стоимости жизненного цикла (СЖЦ) цементовозов, достигаемого при увеличении периодичности проведения плановых ремонтов цементовозов до трех лет в рамках комбинированного критерия. При рассмотрении изменения СЖЦ цементовозов принято во внимание только изменение затрат на их техническое содержание (текущие и плановые виды ремонтов), остальные составляющие стоимости жизненного цикла приняты неизменными, условно постоянными и, как следствие, не влияющими на изменение СЖЦ.

Таблица 4

Результаты расчетов обобщающих (усредненных) характеристик контролируемых параметров НБ

Table 4

The results of calculations of the generalized (averaged) characteristics of the controlled parameters of NB

Наименование параметра НБ*	Среднее фактическое значение параметра, мм	Предельно допустимое значение параметра НБ без ремонта, мм	Значение параметра по рабочему чертежу, мм	Средняя величина износа за МПЭ**, мм	Средняя остаточная величина параметра, допустимая на износ без ремонта, мм	Средний темп износа, мм/г	Вероятность непревышения ремонтного значения параметра через 3 года эксплуатации	Вероятность превышения ремонтного значения параметра через 3 года эксплуатации
Размер $ A_1 - A_2 $	2,16	5	0	2,16	2,84	1,08	0,85993	0,14007
Размер E	135,76	144	134	1,76	8,24	0,88	0,99957	0,00043
Размер З	172,67	166	175	2,33	6,67	1,16	0,99865	0,00135
Размер К	74,02	72	77	2,98	2,02	1,49	0,61026	0,38974
Размер Л	56,16	60	54	2,16	3,84	1,08	0,82894	0,17106
Толщина прокладки Н (М1698)	4,64	0	6	1,36	4,64	0,68	0,99999	0,00001

* наименование контролируемых параметров и их предельно допустимые значения приняты по РД 32 ЦВ 052–2009 [13].

** МПЭ — межремонтный период эксплуатации.

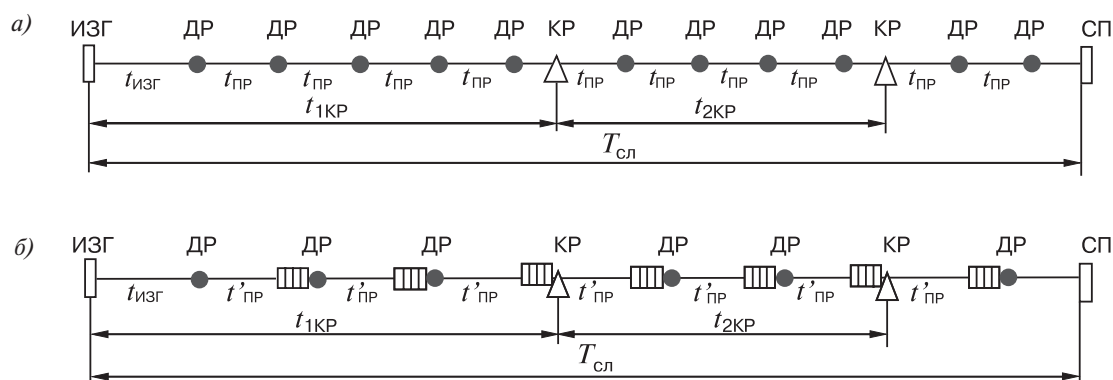


Рис. 6. Структурные схемы системы технического обслуживания и ремонта цементовозов:

a — действующая система технического обслуживания и ремонта цементовозов; *b* — новая система технического обслуживания и ремонта цементовозов; ИЗГ — изготовление; ДР — депо-ремонт; КР — капитальный ремонт; СП — списание; $t_{\text{ДР}}$ — величина $t_{\text{ДР}}$; $t_{\text{ИЗГ}} = 3$ года — продолжительность эксплуатации цементовозов до 1-го ДР; $t_{\text{ДР}} = 2$ года — действующая продолжительность эксплуатации цементовозов между плановыми ремонтами; $t'_{\text{ДР}} = 3$ года — новая продолжительность эксплуатации цементовозов между плановыми ремонтами; $t_{\text{ТР}} = 1$ год — период учета потенциальных экономических рисков, существующих вследствие возможного увеличения частоты поступления цементовозов в ТР-1 и ТР-2 на 3-м году эксплуатации; $t_{\text{КР}} = 12$ лет — продолжительность эксплуатации цементовозов до 1-го КР; $t_{2\text{КР}} = 9$ лет — продолжительность эксплуатации цементовозов от 1-го КР до 2-го КР; $T_{\text{сл}} = 26$ лет — срок службы цементовозов

Fig. 6. Structural diagrams of the system of maintenance and repair of cement carriers:

a — the current system of maintenance and repair of cement carriers; *b* — the new system of maintenance and repair of cement carriers; ИЗГ — production; ДР — depot repair; КР — overall repair; СП — discarding; $t_{\text{ДР}}$ — value $t_{\text{ДР}}$; $t_{\text{ИЗГ}} = 3$ years — duration of operation of cement carriers up to 1 DR; $t_{\text{ДР}} = 2$ years — operating life of cement carriers between scheduled repairs; $t'_{\text{ДР}} = 3$ years — new duration of operation of cement carriers between scheduled repairs; $t_{\text{ТР}} = 1$ year — period of accounting for potential economic risks that exist due to a possible increase in the frequency of cement shipments in TR-1 and TR-2 at the third year of operation; $t_{\text{КР}} = 12$ years — duration of operation of cement carriers up to 1 st KR; $t_{2\text{КР}} = 9$ years — duration of operation of cement carriers from the 1st KR to the 2nd KR; $T_{\text{сл}} = 26$ years — service life of cement carriers

При расчете ТЭЭ:

— учтены средние текущие стоимости выполнения цементовозам ТР-1, ТР-2, ДР и КР;

— не учтено получение прибыли от сокращения суммарного времени простоя вагонов в депо-ремонте в течение всего срока службы;

— не учтено возможное увеличение объема ремонтных работ при ДР и, как следствие, его возможное удорожание при проведении данного ремонта по истечении увеличенного на один год межремонтного норматива.

Расчет ТЭЭ осуществлен в пределах назначенного срока службы цементовозов без учета возможного периода продления срока полезного использования. При его оценке были учтены потенциальные экономические риски, существующие вследствие возможного увеличения частоты поступления цементовозов в ТР-1 и ТР-2 на третьем году эксплуатации, а значит, стоимости текущего содержания цементовозов при переходе на увеличенную периодичность ремонта.

Разновременность вложения затрат на техническое содержание цементовозов учтена дисконтированием денежного потока к текущему (рассматриваемому) моменту при ежегодном росте цен на техническое содержание цементовозов за счет инфляции.

На рис. 6 приведены графические схемы системы технического обслуживания и ремонта цементовозов, на основе которых был проведен расчет ТЭЭ с сопоставлением ежегодных затрат на текущие и плановые

ремонты цементовозов в соответствии с действующей и новой периодичностью ремонта.

С учетом разновременности несения затрат на текущие и плановые ремонты удельное сокращение СЖЦ цементовозов составит примерно 2,5 тыс. руб. на 1 вагон за год эксплуатации при норме дисконта $E_p = 0,1$ (10%) и уровне инфляции $i = 0,05$ (5%). В расчете по базовым (неизменным) ценам ($E_p = 0$, $i = 0$) сокращение СЖЦ составит примерно 8,9 тыс. руб. на 1 вагон за год. В перерасчете на среднегодовой объем ремонта цементовозов парка АО «ПГК» с учетом разновременности несения затрат удельное сокращение СЖЦ составит 8,5 млн руб. в год, а в расчете по базовым (неизменным) ценам — приблизительно 30,2 млн руб. в год. Таким образом, по результатам расчета ТЭЭ, в количественном эквиваленте подтверждена экономическая целесообразность увеличения до трех лет календарной продолжительности эксплуатации цементовозов в рамках комбинированного критерия их вывода в плановый ремонт.

Заключение. Для цементовозов принадлежности АО «ПГК» с межремонтными нормативами по пункту 1.7 табл. 2 «Положения о СТОиР грузовых вагонов» (110 (160) тыс. км/2 года) определена целесообразность апробации возможности увеличения межремонтного календарного срока до трех лет в рамках комбинированного критерия вывода в плановый ремонт с целью сбора опытных данных о результатах их эксплуатации на увеличенном интервале межремонтной наработки.

Результаты апробации увеличенного календарного межремонтного норматива цементовозов парка АО «ПГК» смогут послужить основой для рассмотрения возможности увеличения периодичности проведения плановых ремонтов всей совокупности цементовозов эксплуатационного парка совместного использования государств — участников Содружества, для которых параметры системы технического обслуживания и ремонта регламентированы выше-названным документом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Время ОВК: корпоративный журнал для клиентов. 2017. № 4. 25 с. URL: https://www.uniwagon.com/documents/88y/%D0%92%D0%A0%D0%95%D0%9C%D0%AF_%D0%9E%D0%92%D0%9A_4_%D0%90%D0%9F%D0%A0%D0%95%D0%9B%D0%AC_2017_%D0%93.pdf (дата обращения: 03.05.2017 г.).
2. Соколов А. М. В тяжелом весе лидируют инновации // Инновации транспорта. 2017. № 1. С. 30–33.
3. Статистика // Техника железных дорог. 2016. № 4. С. 40–41.
4. «ВМ-ТРАНС» приобретет у НПК ОВК до 3000 вагонов нового поколения (по материалам пресс-службы НПК ОВК) // Вагоны и вагонное хозяйство. 2016. № 1. 37 с.
5. Положение о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении: утверждено Советом по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества / Дирекция Совета по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества. Протокол № 57 от 17.10.2012. М., 2012. 16 с.
6. Robert L. Nuckolls III. Failure Modes Effects Analysis — Confidence by Design // Sport Aviation. January, 1994. Updated September 3. URL: <http://www.aeroelectric.com/articles/Philosophy/FMEA.pdf> (дата обращения: 14.04.2017 г.).
7. Failure Modes & Effects Analysis. URL: <http://people.ualgary.ca/~design/engg251/First%20Year%20Files/fmea.pdf> (дата обращения: 03.05.2017 г.).
8. Pareto Principle. How the 80/20 Rule Helps Us be More Effective. URL: http://www.pinnacle.com/Articles/Pareto_Principle/pareto_principle.html (дата обращения: 14.04.2017 г.).
9. Koch R. The 80/20 Principle: The Secret of Achieving More With Less. Nicholas Brealey Publishing, 1998. 302 p. URL: <http://www.leadershipcoachingblog.com/wp-content/uploads/2012/03/the-80-20-principle-to-achieve-more-with-less-effort1.pdf> (дата обращения: 04.05.2017 г.).

10. Пахомов А. П. Применять или не применять принцип Парето на практике? // Вестник Российского университета дружбы народов. 2010. № 1. С. 5–12. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/primenyat-ili-ne-primenyat-printsip-pareto-na-praktike> (дата обращения: 04.05.2017 г.).

11. КЖА 2005 05. Классификатор «Основные неисправности грузовых вагонов» / Дирекция Совета по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества. М., 2005. 16 с.

12. Единая программа и методика организации и проведения подконтрольной эксплуатации новых моделей грузовых вагонов и их составных частей: утв. Советом по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества. Протокол № 65 от 26.10.2016 г. М., 2016. 58 с.

13. РД 32 ЦВ 052—2009. Ремонт тележек грузовых вагонов с бесконтактными скользящими: утв. Советом по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества. Протокол № 52 от 14.05.2010 г. / Дирекция Совета по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества. М., 2010. 40 с.

14. Методика определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 27.12.2007 г. № 2459р.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЕТРОВ Сергей Владимирович,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, лаборатория «Вагонное хозяйство», отделение «Вагоны и вагонное хозяйство», АО «ВНИИЖТ»

РАЙКОВ Герман Васильевич,

канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Вагонное хозяйство», отделение «Вагоны и вагонное хозяйство», АО «ВНИИЖТ»

ВАСИЛЬЕВ Алексей Викторович,

канд. техн. наук, заведующий отделением «Вагоны и вагонное хозяйство», АО «ВНИИЖТ»

ГОНЧАРОВ Сергей Евгеньевич,

заместитель генерального директора по техническому развитию — главный инженер, АО «ПГК»

КЕМЕЖ Александр Николаевич,

заместитель начальника Департамента производственной инфраструктуры и технической политики, АО «ПГК»

Статья поступила в редакцию 05.04.17 г., принята к публикации 01.06.2017 г.

Determination of the possibility of increasing the between-repair standards of hopper cars (cement carriers)

S. V. PETROV¹, G. V. RAYKOV¹, A. V. VASIL'EV¹, S. E. GONCHAROV², A. N. KEMEZH²

¹ Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

² Joint Stock Company "First Freight Company" (JSC "Freight One"), Moscow, 105064, Russia

Abstract. In view of gradual changes in the conditions of maintenance, extensiveness and intensity of the use of freight cars of the operational fleet throughout their service life, it is advisable to periodically review between overhaul norms for certain types of cars to ensure a given level of traffic safety and reduce the costs of maintenance and repair in changed conditions.

This article presents the main results of the analytical work aimed at determining the possibility of increasing the period of operation of the hopper cars (cement carriers) to three years in the framework of the combined criteria for draw them to scheduled repairs.

These analytical works include:

- analysis of the structure of the fleet of cement carriers of JSC "Freight One";
- analysis of the operating time of cement carriers in the inter-repair period;
- analysis of the types and consequences of failures of cement carriers;
- evaluation and comparison of operating conditions of cement carriers and covered wagons operated for three years during the between-repairs period within the framework of the combined criterion;
- evaluation of the trend of the change in the average parameter of the flow of failures as they are used in the inter-repair period;
- analysis of data from field survey of a group of cement carriers;
- an estimation of a technical condition of bolster beams of group of cement carriers on the parameters subject to influence of processes of deterioration;
- an estimate of the expected technical and economic effect of changing the calendar periodicity of repair of cement carriers.

As a result of the analytical work carried out for cement carriers owned by JSC "Freight One" with inter-repair standards of 110 (160) thousand km/2 years, it was determined the feasibility of approbation of the possibility of increasing the inter-repair time period to three years with the purpose of collecting experimental data on the results of their operation at an increased interval of between-repair operation.

The results of approbation of the increased calendar inter-repair standard of cement carriers of the JSC "Freight One" fleet can serve as a basis for considering the possibility of increasing the frequency of planned repairs of the whole aggregate of cement carriers of the operating fleet of joint use of the Commonwealth member states.

Keywords: hopper cars; cement carriers; types of failures; reliability indicators; life cycle cost

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-3-165-173>

REFERENCES

1. OVK Time: Corporate magazine for customers, 2017, no. 4, 25 p. URL: https://www.uniwagon.com/documents/88y/%D0%92%D0%A0%D0%95%D0%9C%D0%AF_%D0%9E%D0%92%D0%9A_4_%D0%90%D0%9F%D0%A0%D0%95%D0%9B%D0%A0%D0%93.pdf (retrieved on 03.05.2017).
2. Sokolov A. M. V tyazhelom vese lidiruyut innovatsii [In heavy weight innovations are leading]. Innovatsii transporta [Transport innovations], 2017, no. 1, pp. 30–33.
3. Statistika [Statistika]. Tekhnika zheleznikh dorog [Railway Equipment Magazine], 2016, no. 4, pp. 40–41.
4. «VM-TRANS» priobretet u NPK OVK do 3000 vagonov novogo pokoleniya (po materialam press-sluzhby NPK OVK) [VM-TRANS will acquire up to 3000 new generation wagons from NPK OVK (according to the materials of the press-service of the NPK OVK)]. Vagony i vagonnoe khozyaystvo, 2016, no. 1, 37 p.
5. Regulations on the system of maintenance and repair of freight cars admitted to circulation on public railways in international traffic: approv. by the Council for Rail Transport of the Commonwealth Member States. Protocol no. 57 on 17 October 2012. Moscow, Directorate of the Council for Rail Transport of the Commonwealth Member States Publ., 2012, 16 p. (in Russ.).

6. Robert L. Nuckolls III. *Failure Modes Effects Analysis – Confidence by Design*. Sport Aviation. January 1994, Updated September 3. URL: <http://www.aeroelectric.com/articles/Philosophy/FMEA.pdf> (retrieved on 14.04.2017).

7. *Failure Modes & Effects Analysis*. URL: <http://people.ualgary.ca/~design/engg251/First%20Year%20Files/fmea.pdf> (retrieved on 03.05.2017).

8. *Pareto Principle. How the 80/20 Rule Helps Us be More Effective*. URL: http://www.pinnacle.com/Articles/Pareto_Principle/pareto_principle.html (retrieved on 14.04.2017).

9. Koch R. *The 80/20 Principle: The Secret of Achieving More With Less*. Nicholas Brealey Publishing, 1998, 302 p. URL: <http://www.leadershipcoachingblog.com/wp-content/uploads/2012/03/the-80-20-principle-to-achieve-more-with-less-effort1.pdf> (retrieved on 04.05.2017).

10. Pakhomov A. P. *Primenyat' ili ne primenyat' printsip Pareto na praktike?* [Should or shouldn't we apply the Pareto principle in practice?]. Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov [Bulletin of the Russian University of Peoples' Friendship], 2010, no. 1, pp. 5–12. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/primenyat-ili-ne-primenyat-printsip-pareto-na-praktike> (retrieved on 04.05.2017).

11. KZhA 2005 05. Classifier "The main malfunctions of freight cars". Moscow, Directorate of the Council for Rail Transport of the Commonwealth Member States Publ., 2005, 16 p. (in Russ.).

12. *Unified program and methodology for the organization and conducting controlled operation of new models of freight cars and their components*. Approved by the Council for Rail Transport of the Commonwealth Member States. Protocol no. 65 on 26.10.2016. Moscow, Directorate of the Council for Rail Transport of the Commonwealth Member States Publ., 2016, 58 p. (in Russ.).

13. RD 32 TsV 052–2009. *Repair of freight cars with contactless slides*: approv. by the Council for Rail Transport of the Commonwealth Member States. Protocol no. 52 on 14.05.2010. Moscow, Directorate of the Council for Rail Transport of the Commonwealth Member States Publ., 2010, 40 p. (in Russ.).

14. *Methodology for determining the cost of the life cycle and the limit price of rolling stock and complex technical systems of railway transport*. Approved by the Order of JSC "Russian Railways" on 27.12.2007, no. 2459r. (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Sergey V. PETROV,

Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Laboratory "Car facility", Department "Cars and car facility", JSC "VNIIZhT"

German V. RAYKOV,

Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory "Car facility", Department "Cars and car facility", JSC "VNIIZhT"

Aleksey V. VASIL'EV,

Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department "Cars and car facility", JSC "VNIIZhT"

Sergey E. GONCHAROV,

Deputy Chief Technical Development Officer – Chief Engineering Officer of JSC "Freight One"

Aleksandr N. KEMEZH,

Deputy Head of the Department of production information and engineering policy, JSC "Freight One"

Received 05.04.2017

Accepted 01.06.2017

■ E-mail: Petrov.S.V@vniizht.ru (S. V. Petrov)