

*Р.Р. Аскарлов<sup>1</sup>, В.В. Кашковский<sup>1</sup>, И.И. Тихий<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОВОГО ВАГОННОГО СОСТАВА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕНСИВНЫХ СКВОЗНЫХ МАРШРУТНЫХ ПЕРЕВОЗОК**

**Аннотация.** *Контроль эксплуатационной работы железнодорожного подвижного состава осуществляется в целях повышения провозной способности. Важной составляющей процесса грузовых перевозок является качество эксплуатации подвижного (вагонного) состава и его своевременный ремонт. В работе рассмотрена система оптимизация технической эксплуатации подвижного состава при организации интенсивных сквозных маршрутных перевозок по магистрали. Правильное использование и планирование системы маршрутных отправок является задачей первостепенной для компании ОАО «РЖД». Методология решения задачи основана на системном подходе. Результат работы основан на исследовании моделей систем технической эксплуатации методом статистического моделирования. Для решения задачи и моделирования систем была использована статистика по 2398 отказам грузовых вагонов с последним деповским ремонтом. Для данного вида вагонов применяется комбинированный норматив периодичности проведения деповского ремонта грузовых вагонов согласно «ПОЛОЖЕНИЕ о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении. Принято по распоряжению РАО РЖД № 2759р от 29 декабря 2012 г.». Реальный пробег грузовых вагонов между заездами в депо составляет около 150 тыс.км. Главным научно-теоретическим результатом представленной работы является количественная оценка суммарного среднесуточного отхода вагонов в отцепочный ремонт ТР-2 при маршрутных перевозках проектируемой железнодорожной магистрали и при условии эксплуатации вагонов по комбинированному критерию.*

**Ключевые слова:** *управление процессом перевозок, системный подход, организация движения грузовых поездов, планирование, управление состоянием парка технических объектов*

*R.R. Askarov<sup>1</sup>, V.V. Kashkowsky<sup>1</sup>, I.I. Tichiy<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia*

## **OPTIMIZATION OF THE SYSTEM OF TECHNICAL OPERATION OF THE FREIGHT WAGON STAFF IN ORGANIZATION OF INTENSIVE THROUGH-ROUTE TRANSPORTATION**

**Annotation.** *Monitoring the operational work of railway rolling stock is carried out in order to increase the carrying capacity. The most important component of the freight transportation process is the quality of operation of the rolling stock (cars) and its timely repair. In this work considers a system for optimizing the technical operation of rolling stock during the organization of intensive end-to-end route transportation along the highway. The proper use and planning of the route dispatch system is of paramount importance to the company Russian Railways. The methodology for solving the problem is based on a systematic approach. The result of this work is based on the study of models of technical operation systems by the method of statistical modeling. To solve the problem and simulate systems, statistics we used on 2398 freight car failures with the last depot repair. For this type of carriage, a combined standard for the frequency of depot repair of freight cars are applied according to the "REGULATIONS on the system of maintenance and repair of freight cars approved for use on public railways in international traffic. According to Russian Railway № 2759-R of 29 December 2012. The real mileage of freight cars between rides at the depot is about 150 thousand kilometers. The main scientific and theoretical result of this work is a quantitative assessment of the total average daily departure of cars in uncoupling repairs of TR-2 during route transportation of the designed railway line and subject to the operation of cars according to the combined criterion.*

**Keywords:** *transportation process management, system approach, organization of freight train traffic, planning, management of the state of the fleet of technical objects*

### **Введение**

Управление эксплуатационной работой осуществляется с целью увеличение качества перевозочного процесса и провозной способности системы железных дорого. Организация продуктивного перевозочного процесса на практике имеет в себе множество разнообразных

научно-практических аспектов. В работе мы рассмотрим только часть проблем, связанных с перевозкой грузов.

Главной составляющей перевозочного процесса является **Система технической эксплуатации подвижного (вагонного) состава.**

Под системой технической эксплуатации подвижного состава понимается совокупность методов, руководящих документов, технологий, логистики, производственных фондов, инфраструктуры и работников, связанных на прямую с организацией бесперебойного движения поездов. В зависимости от целей и задач допускаются различные системы технической эксплуатации подвижного состава. Стоит отметить, что, не смотря на схожесть задач, система технической эксплуатации грузовых вагонов имеет множество отличий от системы технической эксплуатации пассажирских вагонов.

В работе мы рассмотрим систему технической эксплуатации грузового вагонного состава при организации интенсивных сквозных маршрутных перевозок по магистрали.

Железнодорожная магистраль – это линия, обеспечивающая основные транспортные связи внутри страны или с зарубежными странами.

Под маршрутной перевозкой далее будем понимать сквозную перевозку по магистрали одним составом в объёме соответствующей весовой норме или длине поезда, установленной для данного маршрута. Маршрутный поезд следует по магистрали в пределах пропускной способности каждого железнодорожного участка.

Оптимизация системы технической эксплуатации грузового вагонного состава при организации интенсивных сквозных маршрутных перевозок по магистрали является первостепенной для компании ОАО «Российские Железные Дороги».

Одним из важных критериев грузовых перевозок является обеспечение ритмичности. Для решения такой задачи необходимы инвестиции для обновления инфраструктуры или проведение комплекса технических, технологических и организационных мероприятий. Это постоянный контроль за состоянием грузового вагонного парка и создание достаточных мощностей для своевременного отцепочного ремонта ТР-2. Если инфраструктура не успевает обслуживать, ремонтировать травмированные вагоны, то возрастает длительность отцепочного ремонта. Если же инфраструктура «раздута», то содержание объектов ремонта будет убыточным. Из этого следует, что оптимизация производственной мощности для осуществления отцепочного ремонта ТР-2 является одной из первостепенной задачей оптимизации системы технической эксплуатации подвижного состава в целом.

Особенно важно оптимизировать время отцепочного ремонта при маршрутных перевозках большой протяженностью. Если железнодорожная магистраль осуществляет отправку маршрутных поездов регулярно (например, Трансиб), то оптимизация происходит по средствам эвристического метода на основе полученной статистики по отцепочным ремонтам на данной магистрали.

Решить задачу, связанную с оптимизацией инфраструктуры предназначенной для проведения отцепочного ремонта, прежде всего, надо установить среднесуточное количество вагонов, отправленных для осуществления ремонта ТР-2. Несмотря на актуальность данной задачи, учеными так и не было найдено её научного решения, пригодного для применения на практике.

#### **Постановка задачи. Дано**

Проектируется железнодорожная магистраль, протяжённостью  $L$ , тыс. км с конечными станциями, начала зоны ответственности данной магистрали (станция  $A$ ) и (станция  $B$ ), по которой осуществляются интенсивные сквозные маршрутные перевозки. Известен среднесуточный приход вагонов в пункты начала ответственности магистрали  $A$  и  $B$ , соответственно,  $N_A$  и  $N_B$ . Среднесуточный пробег вагона –  $T_{AB}$ , суток.

Считается, что по магистрали осуществляют движение однотипные вагоны с плотностью распределения наработки до первого отказа  $f_1(t)$ , где  $t$  – пробег вагона тыс. км. после последнего деповского ремонта.

Эксплуатация вагонов осуществляется по комбинированному критерию [1], что соответствует среднему пробегу вагона по ресурсу  $T_p$ , тыс. км.

### **Допущения**

1. Основной способ ремонта вагонов это замена комплектующих, примем допущение, что вагоны являются невосстанавливаемыми техническими объектами. Т.е. после любого вида ремонта плотность распределения наработки данной комплектующей детали вагона до отказа равна  $f_1(t)$ . Ну а поскольку при движении по магистрали отказывает в основном ходовая часть вагона, будем считать, что  $f_1(t)$  комплектующих ходовой части и вагона совпадают.

При рассмотрении вагонов как восстанавливаемых объектов  $f_1(t) \neq f_2(t)$ , где  $f_2(t)$  плотность распределения наработки отремонтированной детали вагона после её ремонта. При такой постановке задачи, т.е. при  $f_1(t) \neq f_2(t)$ , существенно усложняется математический аппарат модели, однако предварительные исследования авторов показывают, что количественные изменения не имеют различий. Поэтому рассмотрение модели вагонов как восстанавливаемых объектов выходит за рамки представленной работы.

2. Примем, что  $f_1(t)$  после постройки вагона в основном схожа и совпадает с  $f_1(t)$  после капитального или деповского ремонта.

### **Требуется**

Для управления процессом перевозок необходимо найти оценку суммарного среднесуточного отхода вагонов в отцепочный ремонт ТР-2 –  $N_{\Sigma_{ТР-2}}$ .

Исходя из того, что  $N_{\Sigma_{ТР-2}}$  найдено, можно найти достаточное число пунктов для выполнения отцепочного ремонта. Так мы сможем оптимизировать систему технической эксплуатации подвижного состава при организации отправки маршрутных поездов по проектируемой железнодорожной магистрали.

### **Системный анализ проблемы**

Допустим, что грузовые вагоны поступают на железнодорожную магистраль равномерно, тогда можно найти оценку среднего числа вагонов, одновременно находящихся на магистрали:

$$N = (N_A + N_B)T_{AB}.$$

Зная  $N$  можно найти оценку суммарного среднесуточного пробега вагонов

$$t_{\Sigma} = N \frac{L}{2T_{AB}}, \text{ тыс. км.}$$

Очевидно, что если средний пробег вагона до отцепочного ремонта ТР-2 равен  $T_{ТР-2}$  тыс. км., при условии, что средний пробег до замены по ресурсу составляет  $T_p$ , то оценка суммарного среднесуточного отхода вагонов в отцепочный ремонт равна:

$$N_{\Sigma_{ТР-2}} = \frac{t_{\Sigma}}{T_{ТР-2}}.$$

Вагоны, осуществляющие движение по магистрали образуют парк вагонов объёмом  $N$ , состав которого постоянно меняется. Этот парк вагонов образует систему, являющуюся одним из объектов действия системы технической эксплуатации.

Часть вагонов  $N_{\Sigma}$  этого парка среднесуточно покидает магистраль без потребности в отцепочном ремонте ТР-2, вторая часть  $N_{\Sigma_{ТР-2}}$  уходит в отцепочный ремонт, третья часть  $N_{\Sigma_{ТР-2}}$  среднесуточно покидает магистраль после отцепочного ремонта. При этом среднестатистически соблюдается соотношение:

$$N_{\Sigma} + N_{\Sigma_{ТР-2}} = N_A + N_B.$$

Задачи по оценке  $N_{\Sigma_{ТР-2}}$  относятся к задачам теории надёжности. Для решения подобных задач целесообразнее всего использовать системный подход. Системный подход – мето-

дологическое направление в науке, основная задача которого состоит в разработке методов исследования и конструирования сложноорганизованных объектов – систем разных типов и классов [2].

Парк вагонов как система эмерджентен по отношению к отдельному вагону. Эмерджентность – это закономерность, появляющаяся в системе в виде появления у неё новых свойств, которые ранее не наблюдались у элементов по отдельности. [3, 4].

Теория надёжности в своём современном состоянии полагает применение системного подхода. Так, например, в [5] утверждается, что у систем, как объектов исследования, имеются три группы свойств, каждое из которых используют в самостоятельном аспекте исследования:

- взаимодействие с внешней средой («входы», «выходы»);
- внутреннее строение («структура»);
- внесистемные, интегральные свойства («поведение»).

С такой точкой зрения нельзя согласиться, поскольку общепринято, что система определяется заданием системных объектов, свойств и связей. Системные объекты – это вход, процесс, выход, обратная связь и ограничение [6].

В нашем примере обратная связь – это воздействие системы технической эксплуатации на парк вагонов, объёмом  $N$ , для организации движения поездов.

Известно, что ограничение системы, принимаемое в результате процесса ограничения, отражается выходом. Ограничение системы состоит из цели (функции) системы и принуждающих связей (качеств функции). Принуждающие связи должны быть совместимы с целью [6].

В нашем примере ограничения системы в виде принуждающих связей это метод технической эксплуатации, нормативы по эксплуатации вагонов по комбинированному критерию [1], значения  $L$ ,  $N_A$ ,  $N_B$  и др.

Для определения парка вагонов, эксплуатируемых по комбинированному критерию, необходимо провести системный анализ парков однотипных технических объектов, используемых различными методами технической эксплуатации.

Главное методологическое отличие предлагаемого системного подхода от традиционного [5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] и др. заключается в том, что при новом подходе считается обязательным различать наработку парка однотипных технических объектов  $t_{\Sigma}$  и наработку отдельно взятого технического объекта  $t$  из общего числа технических объектов, образующих парк.

Очевидно, что это разные физические величины, которые имеют разную размерность:

- $t_{\Sigma}$  как правило измеряется сутками;
- $t$  в нашем случае имеет размерность тыс. км.

Систематизация вагонного парка основана на системных ограничениях и обратных связях, принадлежащим конкретным методам технической эксплуатации. Классификация системной организации парков схожих технических вагонов (объектов) в зависимости от системных ограничений представлена на рис. 1.



Рисунок 1. Классификация моделей системной организации парков однотипных технических объектов в зависимости от ограничений

Учитывая системные ограничения. Системы парков вагонов (СПВ) можно разбить на следующие классы:

1. Класс А. Представляет собой СПВ, поставленных на испытания. Нарботка технических объектов из состава СПВ синхронная. Это означает, что все исправные технические объекты, входящие в СПВ имеют одинаковую наработку. Отказавшие технические объекты с испытания выбывают. Испытания завершаются после отказа последнего технического объекта. СПВ предназначена для проведения испытаний на надёжность.

2. Класс В. Модель гипотетической СПВ для проведения испытания на надёжность, аналогичная классу А, но с бесконечным множеством технических объектов, поставленных на испытания.

3. Класс С. СПВ, характеризуемая установившимся процессом эксплуатации до отказа парка однотипных невосстанавливаемых технических объектов. Отказавшие технические объекты заменяются аналогичными. Поэтому наработка технических объектов асинхронная, т. е. все исправные технические объекты, входящие в СПВ имеют разную наработку. Объём парка технических объектов  $N$  постоянный. Модель СПВ класса С это упрощённая модель класса D.

4. Класс D. СПВ, процесс эксплуатации до отказа парка однотипных невосстанавливаемых технических объектов с асинхронной наработкой.

5. Класс E. СПВ, процесс эксплуатации по ресурсу парка невосстанавливаемых технических объектов с асинхронной наработкой.

6. Класс F. СПВ, процесс эксплуатации по ресурсу парка восстанавливаемых технических объектов с асинхронной наработкой.

7. Класс G. СПВ, процесс эксплуатации по ресурсу парка восстанавливаемых технических объектов с синхронной наработкой. Предназначена для испытания на надёжность восстанавливаемых технических объектов.

8. Класс H. СПВ, процесс эксплуатации до предотказового состояния парка невосстанавливаемых технических объектов с асинхронной наработкой.

9. Класс I. СПВ, процесс эксплуатации до предотказового состояния парка восстанавливаемых технических объектов с асинхронной наработкой.

10. Класс J. СПВ, процесс эксплуатации до предотказового состояния парка восстанавливаемых технических объектов с синхронной наработкой. Предназначена для испытания на надёжность восстанавливаемых технических объектов.

Если в процессе испытания или эксплуатации происходит изменение системных ограничений, то СПВ переходит из одного класса в другой.

Системные ограничения классов СПВ сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Системные ограничения классов СПВ

Ограничение СПВ	Классы СТЭ									
	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	І	Ј
Синхронная наработка технических объектов	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+
Дискретность $t_{\mathcal{D}}$	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Продолжительность существования СПВ $t_{\mathcal{D}\max}$	$t_{\mathcal{D}\max} \rightarrow \infty$	$\infty$	$\infty^2$	$\infty$						
Начальный объем СПВ	$N^1$	$N \rightarrow \infty$	$N = N_{\mathcal{D}}^3$							
Замена отказавших технических объектов	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-
Ремонт отказавших технических объектов	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+
Периодический ремонт технических объектов	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+
Замена технических объектов по предотказовому состоянию	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Ремонт технических объектов по предотказовому состоянию	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Замена технических объектов по выработке назначенного ресурса	-	-	-	-	+	$+^4$	$+^4$	-	$+^4$	$+^4$

**Примечания:**

1. Ограничение СПВ класса А:  $1 \ll N < \infty$ ,  $N_{\mathcal{D}} = \text{var}$ , где  $N$  - количество технических объектов поставленных на испытания;  $N_{\mathcal{D}}$  - количество исправных объектов в процессе испытаний.
2. Ограничение СПВ класса С заключается в том, что оно предугадывает наличие установившегося процесса эксплуатации при  $t_{\mathcal{D}} \rightarrow \infty$ .
3. Общее ограничение СПВ классов С – Ј:  $N = N_{\mathcal{D}} = \text{const} < \infty$ , где  $N$  - объём СПВ на первоначальный момент его существования;  $N_{\mathcal{D}}$  - количество исправных технических объектов в процессе эксплуатации. Т.е. объём парка  $N$  постоянен, замена или ремонт отказавших технических объектов осуществляется мгновенно.
4. Предельным состоянием технических объектов классов F, G, I и J считается такое, при котором дальнейшие ремонты отказов восстанавливаемых технических объектов становятся экономически нецелесообразны.

Общей характеристикой всех классов СВП, кроме В, является дискретность наработки  $t_{\mathcal{D}}$ . Дискретность наработки СПВ определяется заданными календарными сроками отчётности – месяц, квартал, год и т.п. При моделировании целесообразно вести отчёт наработки СПВ в сутках.

В настоящее время научной литературе по надёжности [5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] и др. исследованы аналитические зависимости только двух классов В и С.

Для класса В это взаимосвязь между интенсивностью отказов  $\lambda$  и синхронной наработкой системы  $t_{\mathcal{D}} = t_i, i = \overline{1, N}$ :

$$\lambda(t_{\mathcal{D}}) = \frac{f_1(t_{\mathcal{D}})}{p(t_{\mathcal{D}})}, \quad (1)$$

где  $p(t_{\mathcal{D}})$  – вероятность безотказной работы невосстанавливаемых технических объектов в зависимости от наработки  $t_{\mathcal{D}} = t_i, i = \overline{1, N}$  парка этих объектов при испытании на надёжность.

В выражении (1) не делается разницы между  $t$  и  $t_{\mathcal{D}}$ , и подразумевается, что оно справедливо во всех случаях, независимо от принятых ограничений и принуждающих связей в парке технических объектов. Так, например, во многих работах (1) используют для назначения оптимального ресурса (в нашем понимании это системы класса Е), тогда как (1) может лишь качественно описать зависимость  $\lambda(t_{\mathcal{D}})$  систем класса А. Для систем класса С-Ж выражение (1) не даёт качественной картины. Это является причиной многих математических просчётов в теории надёжности и неработоспособности предлагаемых методик назначения оптимального ресурса. Но также в теории надёжности различают несколько принятых в качестве международных классов моделей потока отказов [15]. Упрощённые изображения этих моделей показаны на рисунке 2.

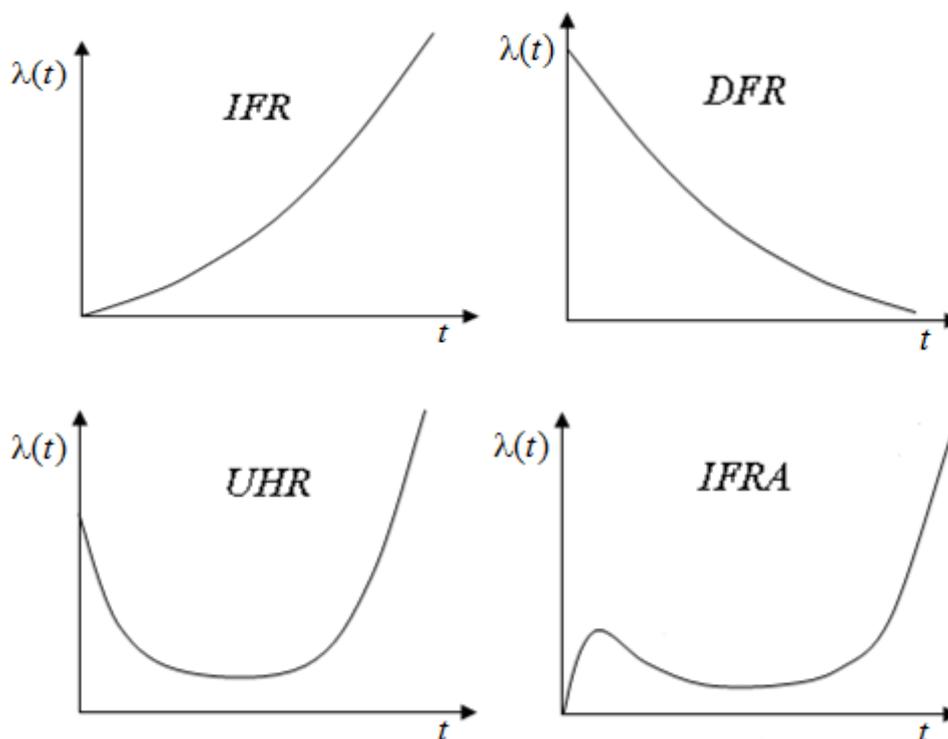


Рисунок 2. Международная классификация моделей потока отказов в зависимости от законов плотности распределения наработки до отказа

а – IFR – модель на основе элемента стареющего типа с распределением наработки до отказа в виде нормального закона распределения, например, [15]. Чаще всего её представляют в виде линейно возрастающей интенсивности отказов.

б – DFR – модель с монотонно убывающей интенсивностью отказов. Единственное распределение, модель которого способно породить такую интенсивность отказов, это распределение Вейбулла. В научной литературе до сих пор не представлено убедительных доказательств существования подобных объектов.

в – UHR или U – образная модель. Упрощённый вариант модели IFRA.

г – IFRA – модель на основе элемента с типовой плотностью распределения наработки до отказа, например, [8].

Классификация моделей на рис. 2 не имеет практического смысла, так как она применима только для парков технических объектов с синхронной наработкой и бесконечным объёмом парка технических объектов  $N$ .

В практике технической эксплуатации для выражения (1) просто нет соответствующих систем, поскольку на транспорте и в промышленности применяют исключительно системы с асинхронной наработкой и конечным объёмом парка технических объектов  $N$ . Исследования классов D-J с асинхронной наработкой и конечным объёмом парка технических объектов  $N$  показало, что во всех случаях  $\lambda(t_{\text{э}})$ , независимо от формы плотности распределения наработки до отказа  $f_1(t)$ , интенсивность отказов по мере увеличения  $t_{\text{э}}$  стремится к установившемуся значению [14].

Другим известным аналитическим выражением является аналитическое описание систем класса С – систем эксплуатации до отказа парка технических объектов с мгновенной заменой отказавших:

$$f_{\Pi}(\tau_{\text{э}}) = \frac{1}{T_1} e^{-\frac{\tau_{\text{э}}}{T_1}} = \lambda e^{-\lambda \tau_{\text{э}}}, \quad (2)$$

где  $T_1 = \frac{1}{\lambda} = \int_0^{\infty} f_1(t) t dt$  – средняя наработка технического объекта до отказа;  $\lambda$  – интенсивность

простейшего потока отказов системы класса С;  $f_{\Pi}(\tau_{\text{э}})$  – плотность распределения наработки между отказами в простейшем потоке отказов системы класса С в пересчёте на одно техническое изделие;  $\tau_{\text{э}}$  – интервал наработки (времени существования) системы класса С между соседними отказами в потоке.

Выражение (2) является следствием закона Пуассона для случая  $k=1$ . Согласно закону Пуассона, если прогноз появления случайной величины отказов  $\xi$  в простейшем потоке для одного изделий за время  $\tau_{\text{э}}$  равен некоторому значению  $k$ , то вероятность подтверждения данного прогноза равна

$$p_{\tau_{\text{э}}}(\xi = k) = \frac{(\lambda \tau_{\text{э}})^k}{k!} e^{-\lambda \tau_{\text{э}}},$$

где  $k$  может принимать целые положительные значения от нуля до бесконечности.

Выражение (2) подтверждено моделированием [14]. Оно нашло обширное практическое применение. На основе (2) построена теория структурной надёжности. Законы функционирования модели класса С лежат в основе теории систем массового обслуживания.

Следует отметить, что выражение (2) противоречит теории надёжности, основанной на выражении (1). Поэтому международная классификация моделей потока отказов не рассматривает случаи с постоянной интенсивностью отказов. Они вне классификации. Это означает бездоказательное отрицание существования теории систем массового обслуживания.

Особенность классов D-J заключается в том, что для них не найдено общих аналитических решений. Поэтому их закономерности исследованы только методом статистического моделирования [14].

В нашем случае, заданные в исходных данных принуждающие связи, позволяют отнести СПВ маршрутных перевозок к классу Е, т. е. к классу СПВ, характеризуемых процессом эксплуатации по ресурсу парка невозстанавливаемых технических объектов с асинхронной наработкой.

В то же время между СПВ класса Е и СПВ маршрутных перевозок есть некоторые отличия.

Класс Е предполагает одновременный ввод в эксплуатацию СПВ в объёме  $N$ . Для функции  $\lambda_{TP-2}(t_{\text{э}})$  данного класса характерны периодические колебания, которые стремятся к установившемуся значению при  $t_{\text{э}} \rightarrow \infty$ . Исследования СПВ данного класса необходимы для назначения оптимального пробега вагонов между плановыми ремонтами [16].

Данная задача характерна константной заменой одних, ранее эксплуатируемых вагонов в СПВ, на другие ранее эксплуатировавшиеся вагоны со среднесуточной интенсивностью  $N_A + N_B$ . Т. е. состав вагонов в СПВ постоянно меняется. Исходя из этого следует, что с момента запуска новой магистрали в функции  $\lambda_{TP-2}(t_{\Sigma})$  будет отсутствовать участок колебаний, характерный для СПВ класса Е и с самого начала  $\lambda_{TP-2}(t_{\Sigma}) = const$ .

Другим отличием рассматриваемой СПВ отметим то, что, хотя данная СПВ и эксплуатируется по ресурсу у парка вагонов, находящихся в зоне железнодорожной магистрали, в принципе невозможен отход в плановый ремонт.

С учётом выявленных отличий, СПВ при маршрутных перевозках будем классифицировать как Е1.

#### Решение задачи

Моделирование СПВ с различными законами распределения наработки до отказа позволили вывести эмпирическое выражение для вычисления установившейся (средней) интенсивности отказов системы класса Е1 [17]:

$$\lambda_{TP-2}(T_p) = \frac{q(T_p)}{q(T_p)T_{1\Omega} + T_p[1 - q(T_p)]} = \frac{1}{T_{TP-2}}, \quad (3)$$

где  $q(T_p) = \int_0^{T_p} f_1(t)dt$  - вероятность отказа изделия за наработку  $T_p$ ;  $T_{1\Omega} = \frac{1}{q(T_p)} \int_0^{T_p} f_1(t)tdt$  - эксплуатационная средняя наработка до отказа СПВ при эксплуатации его по ресурсу  $T_p$ .

Если в выражении (3)  $T_p \rightarrow \infty$ , то получим

$$\begin{aligned} \lim_{T_p \rightarrow \infty} \lambda_{TP-2}(T_p) &= \lim_{T_p \rightarrow \infty} \frac{q(T_p)}{q(T_p)T_{1\Omega} + T_p[1 - q(T_p)]} = \\ &= \frac{1}{\int_0^{\infty} f_1(t)tdt} = \frac{1}{T_1} = \lambda. \end{aligned}$$

Исходя из вышесказанного, аналитически подтверждена адекватность и совместимость математического аппарата (2) и (3). Также видим, что выражение (2) является частным случаем выражения (3).

Учитывая предыдущее, окончательное решение выглядит так:

$$\begin{aligned} N_{\Sigma TP-2} &= \frac{t_{\Sigma}}{T_{TP-2}} = N \frac{L}{2T_{AB}T_{TP-2}} = \\ &= \frac{q(T_p)NL}{2T_{AB} \{q(T_p)T_{1\Omega} + T_p[1 - q(T_p)]\}}. \end{aligned}$$

#### Выводы

Основным научно-теоретическим результатом проделанной работы является оценка суммарного среднесуточного количества вагонов, которые необходимо будет отправить на отцепочный ремонт TP-2 при маршрутных перевозках по данной магистрали, соблюдая критерий комбинированности при эксплуатации вагонов.

Полученный результат выполненных исследований ценен в области теории перевозочного процесса для компании ОАО «РЖД». Так как ранее задачи подобного класса количественного решения не имели.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ПОЛОЖЕНИЕ о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении. Принято по распоряжению РАО РЖД № 2759р от 29 декабря 2012 г.

2. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Системный анализ и управление». Изд. 2-е, перераб. и доп. – СПб.:Изд-во СПбГТУ, 2001. 512 с.
3. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: Учеб. пособие/Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. — М.: Финансы и статистика, 2006. - 848 с: ил.
4. Комлев Н.Г. Словарь иностранных слов. — М.: ЭКСМО-Пресс, 2000. 657 с.
5. Надёжность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т./ Ред. совет: В.С. Авдучевский (пред.) и др. — М: Машиностроение, 1986. — (В пер.). Т.1: Методология. Организация. Терминология/Под ред. А.И. Рембезы. —224 с.
6. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем (S.L. Optner «System analysis for business and industrial problem solving») со вступительной статьёй Никанорова С.П. пер. с англ., — М.: Советское радио, 1969. – 216 с.
7. Техническая эксплуатация авиационного оборудования: Учебник для вузов/В.Г. Воробьев, В.Д. Константинов, В.Г. Денисов и др.; Под ред. В.Г. Воробьева — М.: Транспорт, 1990. – 296 с.
8. Инженерно–авиационная служба и эксплуатация авиационного оборудования / А.Е. Акиндеев, В.Д. Константинов, С.В. Крауз, Е.А. Румянцев, Н.П. Сергеев, И.М. Синдеев / Под ред. Е.А. Румянцева. — М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1970. — 513 с.
9. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. 2–е изд. перераб. и доп. – СПб: БХВ–Петербург, 2006. – 704 с.
10. Райншке. К. Модели надежности и чувствительности систем. Перевод с немецкого под редакцией д–ра техн. наук, проф. Б. А. Козлова. –М: МИР, 1979. — 452 с.
11. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. — М.: Сов. радио, 1969. — 488 с.
- Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность: Пер. с англ. И. А. Ушакова. — М.: Наука, 1985. — 327 с.
12. Вопросы математической теории надежности/Е.Ю. Барзилович, Ю.К. Беляев, В.А. Каштанов и др.; Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Радио и связь, 1983. – 376 с.
13. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высш. школа, 1982. – 231 с.
14. Кашковский В.В. Исследование законов функционирования систем технической эксплуатации. Системный подход к теории технической эксплуатации. – Saarbrucken : LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co, 2012. – 303 p.
15. Барзилович Е.Ю. Савенков М.В. Статистические методы оценки состояния авиационной техники. – М.: Транспорт, 1987. – 240 с.
16. Кашковский В.В. Методика назначения пробега вагонов между деповскими ремонтами // Известия Транссиба. – 2013. – № 1 (13). – С. 117–125.
17. System approach to determining parameters of mass operation systems. V. V. Kashkovsky, I. I. Tikhii, A. P. Khomenko and A. V. Daneev // Far East Journal of Mathematical Sciences (FJMS). Pushpa Publishing House, Allahabad, India. ISSN: 0972-0871 Volume 102, Number 4, 2017, Pages 811-821.

## REFERENCES

1. REGULATIONS on the system of maintenance and repair of freight cars admitted to circulation on public railways in international traffic. Adopted by order of RAO Russian Railways No. 2759r of December 29, 2012.
2. Volkova V.N., Denisov A.A. Fundamentals of systems theory and system analysis: A textbook for university students enrolled in the specialty "System analysis and management." Ed. 2nd, rev. and add. - SPb.: Publishing house of SPbSTU, 2001.512 p.

3. Theory of systems and systems analysis in the management of organizations: Reference: Textbook. allowance / Ed. V.N. Volkova and A.A. Emelyanova. - M.: Finance and statistics, 2006. - 848 s: ill.
4. Komlev N.G. Dictionary of foreign words. - M.: EKSMO-Press, 2000.657 s.
5. Reliability and efficiency in technology: Handbook: V 10 t. / Ed. tip: V.S. Avduevsky (previous) and others. - M: Mechanical Engineering, 1986. - (Per.). T.1: Methodology. Organization. Terminology / Ed. A.I. Rebezza. -224 p.
6. Optner S.L. System analysis for solving business and industrial problems (S.L. Optner "System analysis for business and industrial problem solving") with an introductory article by SP Nikanorov per. from English, - M.: Soviet Radio, 1969. - 216 p.
7. Technical operation of aviation equipment: Textbook for high schools / V.G. Vorobiev, V.D. Konstantinov, V.G. Denisov et al.; Ed. V.G. Vorobyova - M.: Transport, 1990.-- 296 p.
8. Engineering and aviation service and operation of aviation equipment / A.E. Akindeev, V.D. Konstantinov, S.V. Krauz, E.A. Rummyantsev, N.P. Sergeev, I.M. Sindeev / Under. ed. E.A. Rummyantsev. - M.: VVIA them. prof. NOT. Zhukovsky, 1970.-- 513 p.
9. Polovko A. M., Gurov S. V. Fundamentals of the theory of reliability. 2nd ed. reslave. and add. - St. Petersburg: BHV – Petersburg, 2006. - 704 p.
10. Rainshke. K. Models of reliability and sensitivity of systems. Translation from German edited by Dr. Tech. sciences, prof. B.A. Kozlova. –M: MIR, 1979. - 452 p.
11. Barlow R., Proshan F. The mathematical theory of reliability. - M.: Owls. Radio, 1969.-- 488 p.  
Barlow R., Proshan F. Statistical Theory of Reliability and Reliability Testing: Per. from English I.A. Ushakova. - M.: Science, 1985.-- 327 p.
12. Questions of the mathematical theory of reliability / E.Yu. Barzilovich, Yu.K. Belyaev, V.A. Kashtanov and others; Ed. B.V. Gnedenko. - M.: Radio and communications, 1983.-- 376 p.
13. Barzilovich E. Yu. Models of maintenance of complex systems. - M.: Higher. School, 1982.- 231 p.
14. Kashkovsky V.V. The study of the laws of operation of technical operation systems. A systematic approach to the theory of technical operation. - Saarbrucken: LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co, 2012.-- 303 p.
15. Barzilovich E.Yu. Savenkov M.V. Statistical methods for assessing the state of aviation technology. - M.: Transport, 1987.-- 240 p.
16. Kashkovsky V.V. The technique for assigning the mileage of cars between depot repairs // Izvestiya Transsib. - 2013. - No. 1 (13). - S. 117–125.
17. System approach to determining parameters of mass operation systems. V. V. Kashkovsky, I. I. Tikhii, A. P. Khomenko and A. V. Daneev // Far East Journal of Mathematical Sciences (FJMS). Pushpa Publishing House, Allahabad, India. ISSN: 0972-0871 Volume 102, Number 4, 2017, Pages 811-821.

### **Информация об авторах**

*Аскарлов Равиль Рахимзянович* – аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [i.raav.you@gmail.com](mailto:i.raav.you@gmail.com)

*Каишковский Виктор Владимирович* – доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры, «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [kww542339@km.ru](mailto:kww542339@km.ru)

*Тихий Иван Иванович* – Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры, «Механики и приборостроения», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [mytiviv@gmail.com](mailto:mytiviv@gmail.com)

### **Authors**

*Askarov Ravil Rakhimzyanovich* – postgraduate student of the Department of Information systems and information protection, Irkutsk state University of Railways, Tel. 8-902-54-39-070, e-mail: i.raav.you@gmail.com

*Kashkovsky Victor Vladimirovich* – Doctor of technical Sciences, senior researcher, Professor of the Department of Information systems and information protection. Irkutsk state University of Railways, Tel. 8-914-94-31-230, e-mail: kww542339@km.ru

*Tichiy Ivan Ivanovich* – Doctor of technical Sciences, Professor, Professor of the Department of mechanics and instrumentation. Irkutsk state University of Railways, Tel. 8-950-08-44-791, e-mail: mytiviv@gmail.com

### **Для цитирования**

Аскарлов Р.Р. Оптимизация системы технической эксплуатации грузового вагонного состава при организации интенсивных сквозных маршрутных перевозок [Электронный ресурс] / Р.Р. Аскарлов, В.В. Кашковский, И.И. Тихий // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. 2020. №4(10). – Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/410-2020>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 05.12.2020).

### **For citation**

R.R. Askarov. V.V. Kashkovsky, I.I. Tichiy Optimization of the system of technical operation of the freight wagon staff in organization of intensive through-route transportation. *The electronic scientific journal "Young science of Siberia"*, 2020, no. 4(10). [Accessed 05/12/20] (in Russian).