

Совершенствование системы поддержки жизненного цикла локомотивов

Ю. А. Давыдов✉, О. О. Мухин, В. В. Заболотный

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Российская Федерация

✉ puch@festu.khv.ru

Резюме

В настоящее время в России распространяется практика применения контракта жизненного цикла, который предусматривает проектирование, строительство, закупку продукции, ее дальнейшее обслуживание, ремонт и утилизацию. Порядка 80 % всех реализуемых проектов на основе контракта жизненного цикла относятся к транспортной отрасли, однако также контракт успешно применяется в сферах здравоохранения, культуры и спорта. Один из первых проектов с использованием новой концепции – закупка ОАО «РЖД» высокоскоростных поездов «Сапсан» у компании Siemens. Другим примером может стать – Московский метрополитен, заключивший договор с ПАО «Метровагонмаш» на поставку подвижного состава. Как показывает мировой опыт, применение долгосрочного контракта позволяет лучше планировать деятельность, дает возможность оптимизировать издержки, делает предсказуемой инвестиционную программу и сроки ее окупаемости. Кроме того, появляется возможность поступательно и планомерно развивать инженерную компетенцию организации, поскольку по мере анализа статистики отказов происходят обновление и модернизация поставляемой продукции. Данная концепция применена и в локомотивном комплексе, в рамках договора на поставку локомотивов с обязательством обеспечения их сервисного обслуживания, заключенного между АО «Рослокомотив» и ОАО «РЖД», организован ввод в эксплуатацию новых электропоездов серии «Ермак». Контрактом предусмотрено участие ремонтной компании и завода-изготовителя с целью поддержки качества продукции. В статье рассмотрена текущая организация системы поддержки жизненного цикла локомотивов, предложено направление совершенствования – разработка научно обоснованной методики долгосрочного планирования программы ремонта. С применением информационных систем ОАО «РЖД» проведен анализ динамики среднесуточного пробега ЗЭС5К приписки эксплуатационных локомотивных депо Дальневосточной дирекции тяги: рассмотрены влияющие сезонные факторы, определена тенденция роста пробега. Проведен гармонический анализ методом Фурье и предложена функция, описывающая динамику среднесуточного пробега с учетом сезонных колебаний. Разработанная методика позволит более точно определить потребность локомотивов в сервисном обслуживании.

Ключевые слова

контракт жизненного цикла, жизненный цикл, локомотив «Ермак», среднесуточный пробег, организация ремонта, программа ремонта, метод Фурье, прогнозирование

Для цитирования

Давыдов Ю. А. Совершенствование системы поддержки жизненного цикла локомотивов / Ю. А. Давыдов, О. О. Мухин, В. В. Заболотный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 3 (71). – С. 92–101. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).92-101

Информация о статье

поступила в редакцию: 21.08.2021, поступила после рецензирования: 29.08.2021, принята к публикации: 14.09.2021

Improvement of the locomotive life cycle support system

Yu. A. Davydov✉, O. O. Mukhin, V. V. Zabolotnyy

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, the Russian Federation

✉ puch@festu.khv.ru

Abstract

Currently, the practice of applying a life cycle contract is spreading in Russia, suggesting the design, construction, purchase of products, their further maintenance, repair and disposal. 80 % of all projects implemented on the basis of a life cycle contract relate to the transport industry, but the contract is also successfully applied in the fields of healthcare, culture and sports. One of the first projects using the new concept is the purchase of high-speed «Sapsan» trains from Siemens by Russian Railways. Another example is the Moscow Metro, which has signed a contract with PJSC «Metrovagonmash» for the rolling stock supply. As is shown by the worldwide practice, the use of a long-term contract allows to better plan one's activities, allowing to optimize costs and making the investment program and its payback period predictable. Besides, an opportunity appears to progressively and systematically develop their engineering competence, since according to the failure statistics analyses, the supplied products are updated and modernized. This concept has been applied in the locomotive complex, within

the contract for the supply of locomotives with the obligation to ensure their service, between JSC «Roslokomotiv» and JSC «Russian Railways», the commissioning of new electric locomotives of the «Ermak» series has been organized. The contract provides for the participation of a repair company and a manufacturer in order to support the quality of products. The article considers the current organization of the locomotive life cycle support system, suggests the direction of improvement – the development of a scientifically based methodology for long-term planning of the repair program. Using the information systems of JSC «Russian Railways», the analysis of the average daily mileage dynamics of 3ES5K registered in the operational locomotive depots of the Fareastern traction directorate was carried out – the influencing seasonal factors were considered, the growth trend determined. A harmonic analysis is performed by the Fourier method and a function is proposed describing the dynamics of the average daily mileage, considering seasonal fluctuations. The developed methodology will allow a more accurate determination of the need for locomotive maintenance.

Keywords

life cycle contract, life cycle, locomotive «Ermak», average daily mileage, repair organization, repair program, Fourier method, forecasting

For citation

Davydov Yu. A., Mukhin O. O., Zabolotny V. V. Sovershenstvovanie sistemy podderzhki zhiznennogo tsikla lokomotivov [Improvement of the locomotive life cycle support system]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 3 (71), pp. 92–101. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).92-101

Article info

Received: 21.08.2021, Revised: 29.08.2021, Accepted: 14.09.2021

Введение

В 2018 г. между ОАО «РЖД» и АО «Рослокомотив» заключен контракт жизненного цикла (далее – КЖЦ) на поставку и обеспечение сервисного обслуживания новых локомотивов серии «Ermak».

КЖЦ – договор, предусматривающий создание и закупку продукции, предоставление услуг по обеспечению использования, эксплуатации и ремонта продукции в течение всего срока ее службы, а также последующую ее утилизацию. В рамках КЖЦ поставщик в лице АО «Рослокомотив» обязуется обеспечить изготовление локомотивов в соответствии с заявленными техническими условиями, с параметрами надежности и эффективности. Также в рамках КЖЦ АО «Рослокомотив» организует выполнение гарантийного и сервисного обслуживания локомотивов силами заводов-изготовителей и сервисной компании ООО «ЛокоТех-Сервис».

Жизненный цикл тягового подвижного состава

В соответствии с национальным стандартом жизненный цикл (далее – ЖЦ) представляет собой совокупность взаимосвязанных процессов изменения состояния продукции при ее создании, использовании или эксплуатации и ликвидации. ЖЦ подвижного состава принято разделять на пять стадий, которые характеризуются спецификой направленности работ, производимых на этой стадии, и результатами: разработка, производство, модернизация, эксплуатация и утилизация.

В настоящее время на Дальневосточной железной дороге происходит обновление локомотивного парка, эксплуатируемого в границах Транссибирской магистрали. Так с января 2020 г. в рамках КЖЦ в структурные подразделения Дальневосточ-

ной дирекции тяги осуществлена поставка магистральных электровозов серии 3ЭС5К.

На рис. 1 представлена блок-схема процесса эксплуатации новых локомотивов в рамках КЖЦ [1–4]. Стадия эксплуатации – это стадия применения тягового подвижного состава по назначению с поддержанием и восстановлением его качества [1–3]. Эксплуатация делится на два процесса: эксплуатационная работа, которую осуществляют региональные дирекции тяги и их структурные подразделения, и сервисное обслуживание – производят сервисные и ремонтные локомотивные депо, локомотиворемонтные заводы и гарантийные центры локомотивостроительных заводов [1–3].

Организация системы поддержки жизненного цикла

На рис. 2 представлена блок-схема процесса организации системы поддержки ЖЦ локомотивов [4, 5]. Для выполнения процесса необходимыми ресурсами являются: локомотивы, находящиеся на КЖЦ; информационные системы ОАО «РЖД»; материально-техническая база сервисных локомотивных депо; нормативные документы и технологические инструкции, регламентирующие выполнения ремонтных операций [5].

Продуктом сервисного обслуживания являются технически исправные локомотивы, отвечающие заданным требованиям надежности.

Производителями процесса выступают сервисное локомотивное депо, гарантийные центры заводов-изготовителей локомотивов и их ремонтный персонал.

Ключевые показатели процесса являются: выполнение комплексных показателей надежности

локомотивов, установленных договорными отношениями и техническими условиями.

Основной задачей процесса является выполнение качественного ремонта, технического обслуживания локомотивов. Общими целями локомотивного блока являются обеспечение работоспособности технических средств и обеспечение бесперебойной эксплуатации.

В процессе организации системы поддержки ЖЦ существуют следующие риски:

- неверная оценка остаточного ресурса узлов и агрегатов;
- недостаточная надежность узлов и агрегатов;
- некачественное планирование сервисного обслуживания;
- плановое уменьшение объемов ремонтных работ;
- длительный простой в ожидании ремонта, нехватка ремонтных позиций;
- увеличение объема сверхцикловых работ;
- некачественное сервисное обслуживание, невыполнение в полном объеме цикловых работ;
- отсутствие запасных частей и линейного оборудования.

Ежегодно для минимизации рисков в локомотиворемонтных и строительных компаниях разраба-

тываются мероприятия, которые на протяжении всего года контролируются инспекторами по приемке локомотивов региональных дирекций тяги, работниками отдела планирования и контроля ремонта локомотивов эксплуатационных локомотивных депо.

По итогам анализа рисков в системе поддержки ЖЦ определено направление совершенствования – разработка методики долгосрочного планирования программы ремонта локомотивов, что позволит рассчитать потребность и распределить между сервисными организациями количество выполняемых цикловых работ, с учетом мощностей и оснащенностью депо; определить рациональный интервал между вводом в эксплуатацию новых поставляемых локомотивов для равномерного распределения программы ремонта в будущем; определить реальный срок службы агрегатов, чей срок нормирован пробегом; произвести более точный расчет стоимости ЖЦ.

Анализ динамики среднесуточного пробега локомотивного парка

В качестве объекта исследования системы поддержки ЖЦ на стадии эксплуатации выступают электровозы серии ЗЭС5К приписки Дальневосточной дирекции тяги.

Количество цикловых работ на всем ЖЦ за-

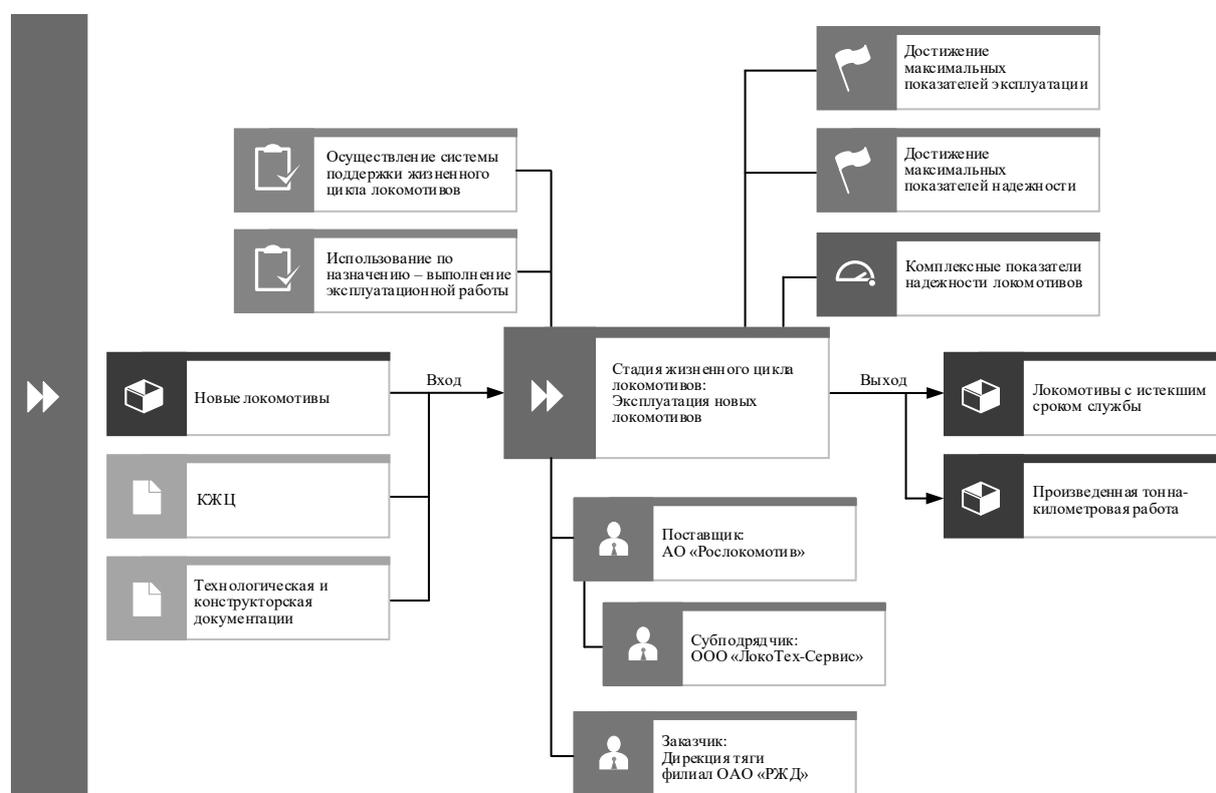


Рис. 1. Блок-схема процесса эксплуатации новых локомотивов в рамках контракта жизненного цикла

Fig. 1. Block diagram of the operation process of new locomotives within the framework of the LCC

висит от пробега локомотивов. В свою очередь, среднесуточный пробег локомотивов зависит от выполнения показателей участковой скорости движения. Как таковой постоянной ограничивающей скорости на участках не существует, с каждым годом разрабатываются организационно-технические мероприятия, новые технологии движения.

На рис. 3 представлена блок-схема факторов, влияющих на среднесуточный пробег. Основные

факторы:

- отказы технических средств (далее – ОТС) – количество допущенных ОТС на линии; длительность простоя на линии по причине ОТС; длительность пересылок локомотивов в недействующем состоянии по причине ОТС до ремонтного предприятия; длительность простоя на ремонте после допущенного ОТС; длительность простоя локомотивов по причине неисправности контактной сети, желез-

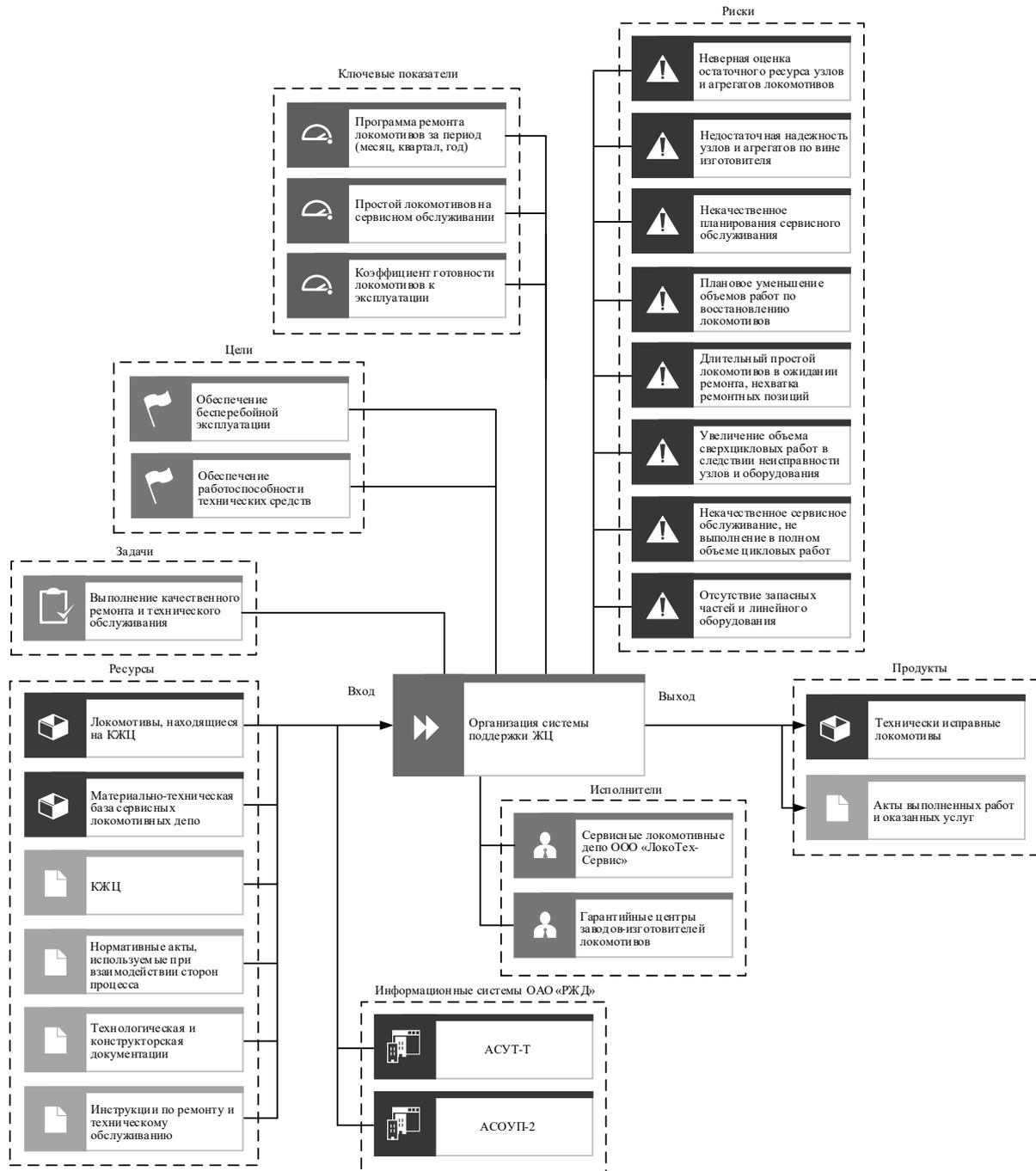


Рис. 2. Блок-схема процесса организации системы поддержки жизненного цикла локомотивов

Fig. 2. Block diagram of the process of organizing a LC support system

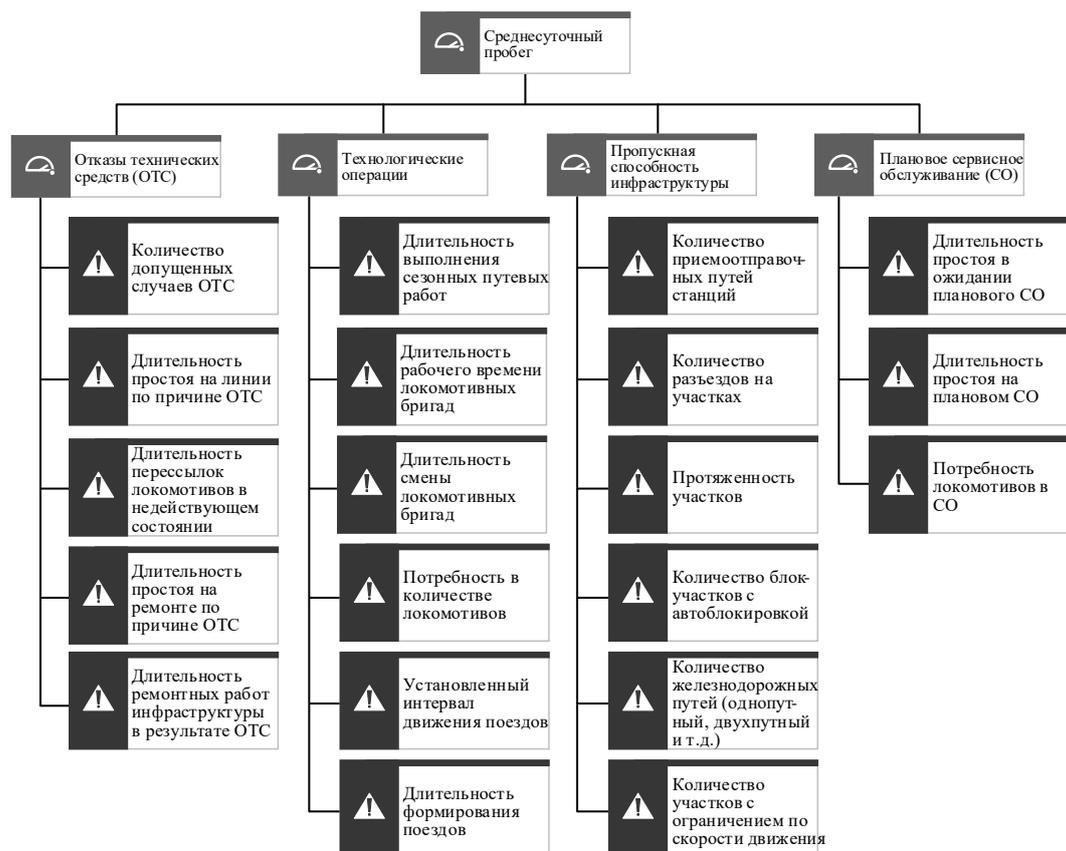


Рис. 3. Блок-схема факторов, влияющих на среднесуточный пробег

Fig. 3. Block diagram of factors affecting the average daily mileage

Динамика среднесуточного пробега локомотивов серии 3ЭС5К

Dynamics of the average daily mileage of locomotives of the 3ES5K series

Месяц	Год						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	Среднесуточный пробег, км/сут						
Январь	566,63	540,45	547,41	583,71	627,94	595,62	603,67
Февраль	562,52	561,08	556,64	580,57	600,91	558,50	591,05
Март	552,13	581,76	552,12	596,05	612,63	545,36	605,99
Апрель	548,26	561,00	550,83	574,14	587,68	539,72	545,42
Май	518,63	525,88	530,34	555,83	565,10	530,63	562,46
Июнь	524,77	527,88	506,82	551,17	576,51	546,88	540,87
Июль	537,76	527,48	498,83	550,33	557,61	507,37	–
Август	520,89	520,40	494,86	569,38	533,12	492,81	–
Сентябрь	497,97	514,84	516,51	559,54	558,51	542,76	–
Октябрь	517,03	541,68	529,49	566,91	563,43	564,16	–
Ноябрь	511,43	566,08	567,47	595,67	572,08	565,97	–
Декабрь	549,91	561,71	543,39	575,18	526,40	576,82	–

нодорожных путей в результате ОТС;

– технологические операции – длительность выполнения сезонных путевых работ; длительность рабочего времени локомотивных бригад; длительность смены локомотивных бригад; количество используемых в поездной работе локомотивов; соблю-

дение интервала движения поездов; продолжительность формирования поездов;

– пропускная способность инфраструктуры – количество приемоотправочных путей станций, разъездов на участках, блок-участков с автоблокировкой; протяженность участков; количество однопутных, двухпутных и многопутных железнодорож-

ных путей; количество опасных участков с ограничением по скорости движения;

– плановое сервисное обслуживание – длительность простоя в ожидании обслуживания; длительность простоя на обслуживании; количество локомотивов, подлежащих плановому обслуживанию [6–8].

Указанные факторы вызывают случайные и сезонные колебания в динамике среднесуточного пробега. Сезонность наносит ущерб деятельности компании ОАО «РЖД», изучение сезонных колебаний необходимо для обеспечения более ритмичной работы локомотивного комплекса.

В табл. и на рис. 4 представлена динамика среднесуточного пробега рабочего парка локомотивов серии ЗЭС5К приписки эксплуатационных локомотивных депо Хабаровск-II и Смоляниново за период с января 2015 по июнь 2021 г.

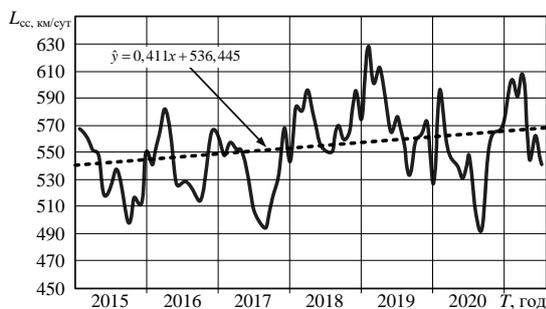


Рис. 4. Динамика среднесуточного пробега локомотивов серии ЗЭС5К

Fig. 4. Dynamics of the average daily mileage of locomotives of the ZES5K series

Представленная динамика подтверждает наличие сезонных колебаний – снижение среднесуточного пробега происходит в летнее время года, а увеличение – в зимнее, также имеются случайные колебания.

Для прогнозирования динамики среднесуточного пробега, подобрана линия тренда, пунктирная линия на графике (см. рис. 4), на основании которой справедливо утверждать, что среднесуточный пробег в будущем будет расти. Тогда с его увеличением количество цикловых ремонтных работ будет расти на всем ЖЦ локомотива [9, 10].

Для дальнейших расчетов в качестве уравнения тренда принимается полином первой степени:

$$\hat{y} = 0,411x + 536,445, \quad (1)$$

где \hat{y} – значение среднесуточного пробега в соответствующем месяце, км/сут; x – искомый параметр времени, порядковый номер месяца.

Рост среднесуточного пробега обусловлен развитием железнодорожной инфраструктуры Дальневосточного региона и технологий: электрификация участков Волочаевка-II – Комсомольск-на-

Амуре – Советская Гавань; прокладка третьего пути Транссибирской магистрали; развитие приемоотправочных парков; увеличение разъездов; внедрение технологии «виртуальной автосцепки» на всем локомотивном парке, эксплуатируемом в границах Восточного полигона [6–8].

Разработка модели прогноза среднесуточного пробега

При исследовании и описании сезонности динамики целесообразно использовать гармонический анализ по методу Фурье, уравнение выглядит следующим образом:

$$Y_k t = a_0 + \sum_{k=1}^{T/2} \left(a_k \cos \frac{2\pi k t}{T} + b_k \sin \frac{2\pi k t}{T} \right), \quad (2)$$

где a_0 , a_k , b_k – неизвестные параметры Фурье, которые находятся по методу наименьших квадратов; k – гармоника ряда ($k \leq T/2$); T – период колебаний, для описания сезонности гармониками Фурье временной параметр необходимо перевести в радианную меру [11–17]. Коэффициенты Фурье a_0 , a_k , b_k определяются при помощи метода наименьших квадратов из следующих соотношений:

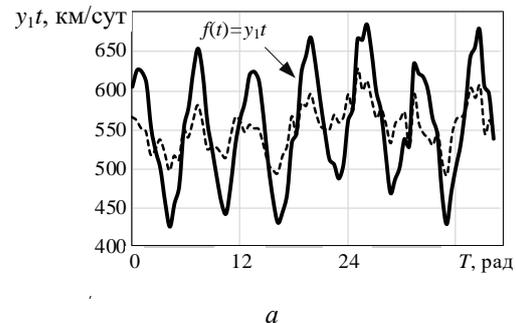
$$a_k = \frac{2}{T} \sum_{t=0}^{\frac{\pi}{6}} y \cos k t; \quad (3)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \sum_{t=0}^{\frac{\pi}{6}} y \sin k t; \quad (4)$$

$$a_0 = \frac{\sum y}{T}, \quad (5)$$

где y – исходное значение среднесуточного пробега в соответствующем месяце, км/сут.

Представленный временной ряд (см. табл.) имеет протяженность в 78 значений, соответственно $T = 78$, а количество гармоник k должно быть принято не более $T/2$. По результатам расчета по формулам (1)–(5) получено множество гармоник. На рис. 5 представлены графики первых трех гармоник, пунктирная линия характеризует исходные данные о среднесуточном пробеге.



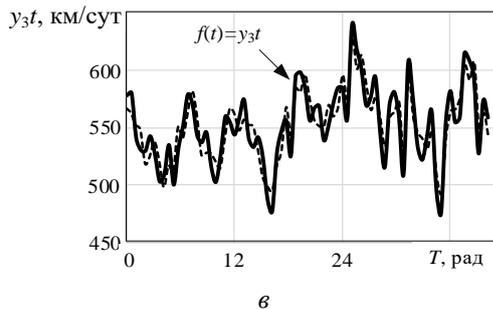
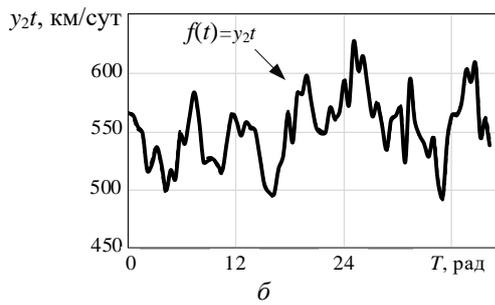


Рис. 5. Графики гармоник, полученных по методу Фурье:

a – первая гармоника; *б* – вторая гармоника;
в – третья гармоника

Fig. 5. Graphs of harmonics obtained by the Fourier method:

a – first harmonic; *b* – second harmonic;
c – third harmonic

В общем виде модель прогноза среднесуточного пробега локомотивов, поставляемых в 2021 г., на всем ЖЦ с июля 2021 по 2054 г., выглядит следующим образом:

$$y_k t = \hat{y} + \sum_{k=1}^{T/2} (a_k \cos kt + b_k \sin kt), \quad (6)$$

где \hat{y} – соответствует уравнению тренда по формуле (1), тогда формула (6) примет вид

$$y_k t = 0,411t + 536,445 + \sum_{k=1}^{T/2} (a_k \cos kt + b_k \sin kt).$$

С помощью подбора различных гармоник и их совмещения между собой достигнут прогноз с

наиболее схожими с анализируемой динамикой колебаниями [18, 19]. В итоге функция для прогнозирования среднесуточного пробега на 33 года вперед, включающая в себя гармоники со второй по седьмую, имеет вид:

$$Yt = 0,411t + 536,445 + \sum_{k=2}^7 (a_k \cos kt + b_k \sin kt). \quad (7)$$

На рис. 6 представлен прогноз динамики среднесуточного пробега на 33 года вперед.

Прогнозирование цикловых работ

Плановые работы по техническому обслуживанию и текущему ремонту включают в себя: техническое обслуживание в объеме ТО-1, ТО-2, ТО-4, ТО-5, текущие ремонты ТР-1, ТР-2, ТР-3, средний (СР) и капитальный ремонты (КР). Согласно руководству по эксплуатации магистральных электровозов серии «Ермак», межремонтный пробег при ТР-1 составляет 50 тыс. км, для ТР-2 – 250 тыс. км, ТР-3 – 500 тыс. км, СР – 100 тыс. км, КР – 1 млн км. Кроме того, предусмотрен допуск постановки локомотивов на сервисное обслуживание $\pm 5\%$ [20–22].

Для расчета количества цикловых работ на всем ЖЦ локомотивов серии ЗЭС5К необходимо найти интеграл функции (7). Интегрирование позволит определить полный линейный пробег локомотива:

$$L_{\text{лин}} = \frac{D}{T} \int_{t_0}^T Yt dt,$$

где T – период, рад; D – период, календарные дни; t_0 – начало эксплуатации локомотива, рад.

По итогам интегрирования линейный пробег локомотива составит 7 млн 186 тыс. 100 км.

Для каждого вида ремонта его количество на всем ЖЦ будет рассчитываться следующим образом:

– капитальный ремонт

$$n_{\text{КР}} = \frac{L_{\text{лин}}}{L_{\text{КР}}}; \quad (8)$$

– средний ремонт

$$n_{\text{СР}} = \frac{L_{\text{лин}}}{L_{\text{СР}}} - n_{\text{КР}}; \quad (9)$$

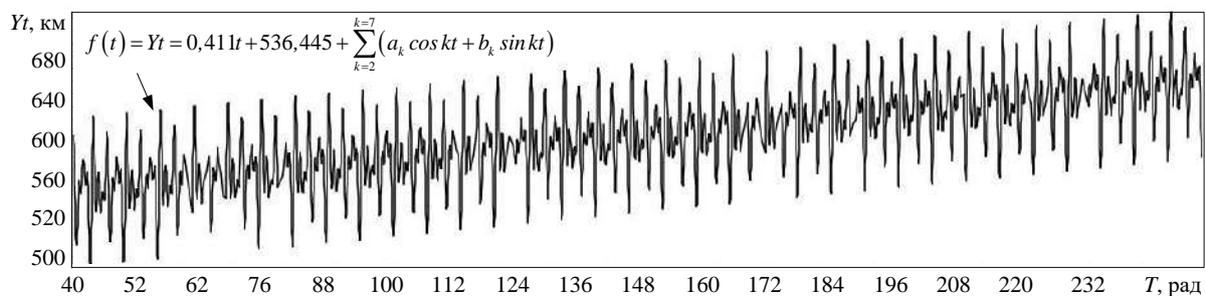


Рис. 6. График прогноза динамики среднесуточного пробега на 33 года вперед
Fig. 6. Fourier time series of the average daily mileage of locomotives for 33 years ahead

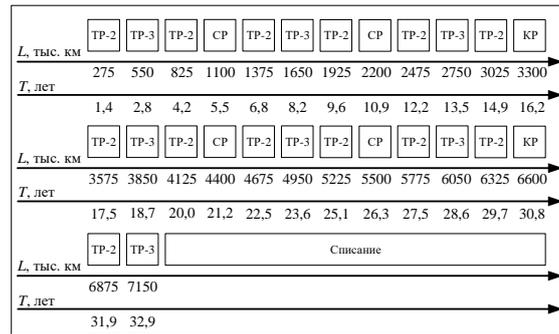


Рис. 7. График распределения цикловых ремонтных работ в границах жизненного цикла с учетом роста среднесуточного пробега до 2054 г.

Fig. 7. Schedule of distribution of cycle repair work within the boundaries of the life cycle of a locomotive 3ES5K considering the growth of the average daily mileage until 2054

– текущий ремонт в объеме ТР-3

$$n_{\text{ТР-3}} = \frac{L_{\text{лиш}}}{L_{\text{ТР-3}}} - (n_{\text{КР}} + n_{\text{СР}}) ; \quad (10)$$

– текущий ремонт в объеме ТР-2

$$n_{\text{ТР-2}} = \frac{L_{\text{лиш}}}{L_{\text{ТР-2}}} - (n_{\text{КР}} + n_{\text{СР}} + n_{\text{ТР-3}}) ; \quad (11)$$

– текущий ремонт в объеме ТР-1

$$n_{\text{ТР-1}} = \frac{L_{\text{лиш}}}{L_{\text{ТР-1}}} - (n_{\text{КР}} + n_{\text{СР}} + n_{\text{ТР-3}} + n_{\text{ТР-2}}) , \quad (12)$$

где $L_{\text{КР}}$, $L_{\text{СР}}$, $L_{\text{ТР-3}}$, $L_{\text{ТР-2}}$, $L_{\text{ТР-1}}$ – межремонтный пробег для соответствующего объема цикловых работ (км) [23].

По итогам расчета по формулам (9)–(12) в рамках ЖЦ одного локомотива будут проведены цикловые работы в объеме КР 2 раза, в объеме СР – 4 раза, ТР-3 – 7, ТР-2 – 13, ТР-1 – 104.

На рис. 7 представлен график распределения цикловых ремонтных работ в границах ЖЦ одного локомотива с учетом изменения динамики среднесуточного пробега до 2054 г.

Заключение

Методика определения объемов сервисного обслуживания на всем ЖЦ с учетом изменения среднесуточного пробега применима для любых серий локомотивов. Методика позволит в перспективе:

- определить рациональный интервал между вводом в эксплуатацию новых локомотивов, тем самым в будущем обеспечить равномерную поставку локомотивов на ремонтные позиции, что повысит вероятность выполнения заданного показателя коэффициента готовности локомотивов к эксплуатации, снизит длительный простой на ремонте и в ожидании ремонта;

- определить потребность локомотивного парка в плановых видах ремонта, что даст возможность рационального распределения их по сервисным организациям;

- оценить отклонение выполнения программы ремонта локомотив и определить стратегию совершенствования электровозов;

- определить срок работы узлов и агрегатов локомотивов, срок службы которых нормирован по линейному пробегу, обеспечить план по их замене;

- определить стоимость планового сервисного обслуживания локомотивов на всем ЖЦ.

Список литературы

1. ГОСТ Р 83791-2010. Ресурсосбережение. Стадии жизненного цикла изделий производственно-технического назначения. Общие положения. Введ. 2011-01-01. М. : Стандартинформ, 201815 с.
2. ГОСТ 31539-2012. Цикл жизненный железнодорожного подвижного состава. Термины и определения. Введ. 2014-01-01. М. : Стандартинформ, 201414 с.
3. ГОСТ Р 56136-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Введ. 2015-09-01. М. : Стандартинформ, 201634 с.
4. Свод правил моделирования бизнес-архитектуры и бизнес-процессов ОАО «РЖД» : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 8 окт. 2019 г. № 2227р.
5. Регламент взаимодействия дежурного по эксплуатационному локомотивному депо, приемщика локомотивов дирекции тяги и диспетчера сервисного локомотивного депо в информационных системах ОАО «РЖД» : утв. распоряжением от 20 нояб. 2018 г. № 2438р.
6. Бернгард К.А., Фельдман Э.Д. Комплексная оценка развития пропускной и провозной способности сети железных дорог // Вестник ВНИИЖТ. 1983. № 4. С. 1–4.
7. Белецкий А.Н. Перевозочному процессу – высокую ритмичность // Железнодорожный транспорт. 1984. № 12. С. 17–21.

8. Баранов А.Л. Управление тяговыми ресурсами на Восточном полигоне // Железнодорожный транспорт. 2014. № 6. С. 25–31.
9. Сажин Ю.В., Катунь А.В., Сарайкин Ю.В. Анализ временных рядов и прогнозирование. Саранск : Мордов. ун-т. 2013. 192 с.
10. Химмельблау Д. Анализ процессов статическими методами М. : Мир. 1973. 957 с.
11. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М. : Наука. 1968. 289 с.
12. Теория прогнозирования и принятия решений / С.А. Саркисян, В.И. Каспин, В.А. Лисичкин и др. М. : Высшая школа. 1997. 351 с.
13. Фенкель А.А. Математические методы анализа динамики и прогнозирования производительности труда. М. : Экономика, 1972. 190 с.
14. Shmueli, G. Kenneth C., Lichtendahl Jr. Practical Time Series Forecasting with R: A Hands-On Guide (Practical Analytics). International Kindle paperwhite, 2016. 232 p.
15. Chatfield C. Time-Series Forecasting. USA : Chapman and Hall/CRC, 2001. 280 p.
16. Bisgaard S. Kulahci M. Time Series Analysis and Forecasting by Examl. USA : Wiley, 2011. 400 p.
17. Harvey A. Forecasting, Structural Time Series Models and the Kalman Filter. London : Cambridge University Press. 2014. 676 p.
18. Дьяконов В.П. Maple 10/11/12/13/14 в математических расчетах. М. : ДМК Пресс. 2011. 800 с.
19. Дьяконов В.П. Энциклопедия компьютерной алгебры. Mathcad, Maple, Mathematica, Drive, MuPAD. Аналитические и численные вычисления и их визуализация. Сотни примеров математических расчетов. М. : ДМК Пресс. 2010. 1268 с.
20. ОАО «РЖД» Нормы межремонтных пробегов железнодорожного подвижного состава, эксплуатируемого на инфраструктуре: утв. распоряжением 11 августа 2016 г. № 1651/р.
21. Электровоз магистральный 2ЭС5К (3ЭС5К, 4ЭС5К). Руководство по эксплуатации. Кн. 8. Техническое обслуживание и ремонт. Новочеркасск. 2019. 291 с.
22. Электровоз магистральный 2ЭС5К (3ЭС5К, 4ЭС5К). Руководство по эксплуатации. Кн. 1. Описание и работа. Электрические схемы. Новочеркасск. 2006. 251 с.
23. Методика расчета потребности в заводских и депоовских ремонтах локомотивов ОАО «РЖД». Расчет Р1881 РР : утв. распоряжением от 6 февр. 2019 г. № 198р.

References

1. GOST R 83791-2010 Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Resursoberezheniye. Stadii zhiznennogo tsikla izdeliy proizvodstvenno-tekhnicheskogo naznacheniya. Obshchiye polozeniya. [National standard of the Russian Federation. Resource saving. Stages of the life cycle of products for industrial and technical purposes. General Provisions]. 01.01.2011. 15 p.
2. GOST 31539-2012 Tsikl zhiznennyy zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Terminy i opredeleniya. [Life cycle of railway rolling stock. Terms and Definitions]. 2014-01-01. 14 p.
3. GOST R 56136-2014 Upravleniye zhiznennym tsiklom produktsii voyennogo naznacheniya. Terminy i opredeleniya. [Life Cycle Management of Military Products. Terms and Definitions]. 2015-09-01. 34 p.
4. ОАО «РЖД». Svod pravil modelirovaniya biznes-arkhitektury i biznes-protsessov ОАО «РЖД» [Russian Railways JSC. The set of rules for modeling business architecture and business processes of Russian Railways: approved. by order of JSC Russian Railways]: utv. rasporyazheniyem ОАО «РЖД» ot 8 oktyabrya 2019 g. № 2227r [“Russian Railways” JSC. The set of rules for modeling business architecture and business processes of Russian Railways: approved. by order of JSC “Russian Railways” dated October 8, 2019 No. 2227r].
5. ОАО «РЖД» Reglamenta vzaimodeystviya dezhurnogo po ekspluatatsionnomu lokomotivnomu depo, priyemshchika lokomotivov di-reaktsii tyagi i dispetchera servisnogo lokomotivnogo depo v informatsionnykh sistemakh ОАО «РЖД»: utv. rasporyazheniyem ot 20 noyabrya 2018 g. № 2438r [JSC “Russian Railways” Regulations for interaction of the duty officer for the operational locomotive depot, the receiver of the traction control locomotives and the dispatcher of the service locomotive depot in the information systems of JSC “Russian Railways”: approved. by order of November 20, 2018 No. 2438r].
6. Bernhard K.A., Feldman E. D. Kompleksnaya otsenka razvitiya propusknoy i provoznoy sposobnosti seti zheleznikh dorog [Comprehensive assessment of the development of throughput and carrying capacity of the railway network]. *Vestnik VNIIZHT [Bulletin of VNIIZHT]*, 1983, No. 4, pp. 1–4.
7. Beletskiy A.N. Perevozochnomu protsessu – vysokuyu ritmichnost' [Transportation process – high rhythm]. *Zheleznodorozhnyy transport [Railway transport]*, 1984, No. 12, pp. 17–21.
8. Baranov A.L. Upravleniye tyagovymi resursami na Vostochnom poligone [Traction resource management at the Eastern range]. *Zheleznodorozhnyy transport [Railway transport]*, 2014, No. 6, pp. 25–31.
9. Sazhin Yu.V., Katyn' A.V., Saraykin Yu.V. Analiz vremennykh ryadov i prognozirovaniye [Time series analysis and forecasting]. Saransk: Mordov. un-ta, 2013. 192 p.
10. Khimmel'blau D. Analiz protsessov staticheskimi metodami [Analysis of processes by static methods]. Moskva: Mir Publ., 1973. 957 p.
11. Pustyl'nik, Ye.I. Statisticheskiye metody analiza i obrabotki nablyudeniya [Statistical methods of analysis and processing of observations]. Moskva: Nauka Publ., 1968. 289 p.
12. Sarkisyan S.A., Kaspin V.I., Lisichkin V.A., Minayev E.S., Pasechkin G.S. Teoriya prognozirovaniya i prinyatiya resheniy [Theory of forecasting and decision making]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1997. 351 p.
13. Fenkel' A.A. Matematicheskiye metody analiza dinamiki i prognozirovaniya proizvoditel'nosti truda [Mathematical methods of analysis of dynamics and forecasting of labor productivity]. Moskva: Ekonomika Publ., 1972. 190 p.

14. Shmueli G., Kenneth C., Lichtendahl Jr. Practical Time Series Forecasting with R: A Hands-On Guide (Practical Analytics). *International Kindle paperwhite: 2nd Edition.*, 2016. 232 p.
15. Chatfield C. Time-Series Forecasting. *Chapman and Hall / CRC: 1st Edition.*, 2001. 280 p.
16. Bisgaard S., Kulahci M. Time Series Analysis and Forecasting by Examp. Wiley, 2011. 400 p.
17. Harvey A. Forecasting, Structural Time Series Models and the Kalman Filter. London School of Economics and Political Science: Cambridge University Press, 2014. 676 p.
18. D'yakonov V.P. Maple 10/11/12/13/14 v matematicheskikh raschetakh [Maple 10/11/12/13/14 in mathematical calculations]. Moskva: DMK Press, 2011. 800 p.
19. D'yakonov V.P. Entsiklopediya komp'yuternoy algebrы. Mathcad, Maple, Mathematica, Drive, MuPAD. Analiticheskiye i chislennyye vychisleniya i ikh vizualizatsiya. Sotni primerov matematicheskikh raschetov [Encyclopedia of Computer Algebra. Mathcad, Maple, Mathematica, Drive, MuPAD. Analytical and numerical calculations and their visualization. Hundreds of examples of mathematical calculations]. Moskva: DMK Press, 2010. 1268 p.
20. OAO "RZHD" Normy mezhremontnykh probegov zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava, ekspluatiruyemogo na infrastrukture: utv. rasporyazheniyem 11 avgusta 2016 g. № 1651/r [JSC "Russian Railways" Standards of overhaul runs of railway rolling stock operated on the infrastructure: approved. by order of August 11, 2016 No. 1651 / r].
21. Elektrovoz magistral'nyy 2ES5K (3ES5K, 4ES5K). Rukovodstvo po ekspluatatsii. Kniga 8. Tekhnicheskoye obsluzhivaniye i remont [Mainline electric locomotive 2ES5K (3ES5K, 4ES5K). Manual. Book 8. Maintenance and repair]. Novo-cherkassk, 2019. 291 p.
22. Elektrovoz magistral'nyy 2ES5K (3ES5K, 4ES5K). Rukovodstvo po ekspluatatsii. Kniga 1. Opisanie i rabota. Elektricheskiye skhemy [Mainline electric locomotive 2ES5K (3ES5K, 4ES5K). Manual. Book 1. Description and work. Electrical diagrams]. Novo-cherkassk, 2006. 251 p.
23. OAO "RZHD" Metodika rascheta potrebnosti v zavodskikh i depovskikh remontakh lokomotivov OAO "RZHD". Raschet R1881 RR: utv. rasporyazheniyem ot 6 fevralya 2019 g. № 198r [JSC "Russian Railways" Methodology for calculating the need for factory and depot repairs of locomotives of JSC "Russian Railways". Calculation of R1881 RR: approved by order of February 6, 2019 No. 198r].

Информация об авторах

Давыдов Юрий Анатольевич – д-р техн. наук, профессор кафедры транспорта железных дорог, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: puch@festu.khv.ru.

Мухин Олег Олегович – аспирант кафедры транспорта железных дорог, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: muhinoo@mail.ru.

Заболотный Владимир Владимирович – аспирант кафедры транспорта железных дорог, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: zabolotnyy_vv@mail.ru

Information about the authors

Yuri A. Davydov – doctor of engineering science, Professor of the Subdepartment of Railway Transport, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: puch@festu.khv.ru.

Oleg O. Mukhin – ph.d. student of the Department of Railway Transport, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: muhinoo@mail.ru.

Vladimir V. Zabolotnyy – ph.d. student of the Department of Railway Transport, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: zabolotnyy_vv@mail.ru