

П. А. ЛОЗА, Т. С. ГРИШЕЧКИНА (ДНУЖТ)

Кафедра «Электроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010 Днепропетровск, Украина, ORCID: [orcid.org/0000-0002-6698-5639](https://orcid.org/0000-0002-6698-5639)

Кафедра «Высшая математика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010 Днепропетровск, Украина, тел.: +38(0562)362604, эл. почта: [gitann@rambler.ru](mailto:gitann@rambler.ru), ORCID: [orcid.org/0000-0003-1570-4150](https://orcid.org/0000-0003-1570-4150)

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ СИСТЕМЫ СОДЕРЖАНИЯ ПАРКА ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

### Введение

Железные дороги осуществляют содержание электроподвижного состава (ЭПС) на основании рекомендаций производителя, системы планово-предупредительных ремонтов и технического обслуживания, проводимых с определенной периодичностью в зависимости от пробегов или времени работы, а также на основании диагностики состояния ЭПС.

Главной задачей системы содержания любого транспортного средства является постоянный контроль и поддержание его технического состояния и надежности на уровне, достаточном для выполнения им заданных функций.

Основными параметрами системы содержания локомотивного парка дороги являются межремонтные пробеги, количества и виды (объемы) плановых ремонтов.

Множество исследований посвящены оптимизации данных параметров. В качестве критериев оптимальности предлагаются:

- показатели интенсивности износа деталей ТПС [1,2];
- показатели надежности (вероятность безотказной работы, коэффициент технического использования и др.) [3,4];
- показатели эффективности использования локомотивов (расходы на плановые и неплановые ремонты, расходы на устранение отказов) [4,5].

Также, в работах [6-11], направленных на совершенствование системы содержания ЭПС, предлагается количественная оценка влияния плановых восстановлений на работоспособность подвижного состава с учетом условий эксплуатации, технологии и специализации ремонтной базы.

Однако, рассматривая ту или иную систему содержания, необходимо в первую очередь оценивать качество ее выполнения. Такая оценка затрудняется необходимостью одновременно

принимать во внимание множество значений взаимосвязанных между собой показателей.

### Цель

Целью данной работы является разработка методов количественной оценки качественных изменений в системе содержания парка ЭПС дороги.

Основная задача исследования – создание единого показателя, объединяющего в себе данные о параметрах конкретной системы содержания парка ЭПС дороги и характеризующего состояние данной системы.

Для проверки адекватности данного обобщенного показателя (назовем его индексом) будем использовать  $t$ -критерий Стьюдента, а также рассмотрим взаимосвязь построенного индекса со средним процентом выполнения плана ремонтов парка электроподвижного состава.

### Методика

При изучении состояния системы содержания парка электроподвижного состава дороги были взяты значения следующих показателей с 2006 по 2013 год:

- количества плановых деповских ремонтов электровозов – ТО3, ТР1, ТР2, ТР3;
- простои на плановых ремонтах;
- количества и простои на неплановых ремонтах;
- грузооборот, брутто;
- процент неисправных электровозов.

Задача построения единого обобщенного показателя была реализована в два этапа.

На первом этапе использовался метод главных компонент [12]. Данный метод позволяет исходные переменные путем линейных преобразований привести к новым, нормированным и некоррелируемым между собой переменным. Причем, их количество уже существенно меньше исходных. В результате удалось сократить количество рассматриваемых факторов с 12 до 4 с сохранением 87 % значимой исходной информации.

Далее, на втором этапе применялся метод анализа иерархий [13]. С помощью него на основании полученных главных компонент был построен индекс выполнения системы содержания. Данный индекс имеет вид

$$I_{vss} = \sum_{i=1}^n w_i z_i,$$

где  $z_i, i = \overline{1, n}$  – главные компоненты, полученные на первом этапе анализа;

$w_i, i = \overline{1, n}$  – весовые коэффициенты, определяемые как компоненты собственного вектора матрицы попарных сравнений [1].

Значения индекса для системы содержания парка ЭПС Приднепровской железной дороги по годам и графически приведены в табл.1 и на рис. 1.

Таблица 1

Значения индекса с 2006 по 2013 г.

Год	Индекс
2006	0,545
2007	0,474
2008	0,256
2009	0,401
2010	0,486
2011	0,515
2012	0,474
2013	0,578

Далее, на основании ежегодных данных о линейном пробеге и количествах проведенных ремонтов (табл.2) определим фактическое выполнение системы содержания локомотивного парка дороги.

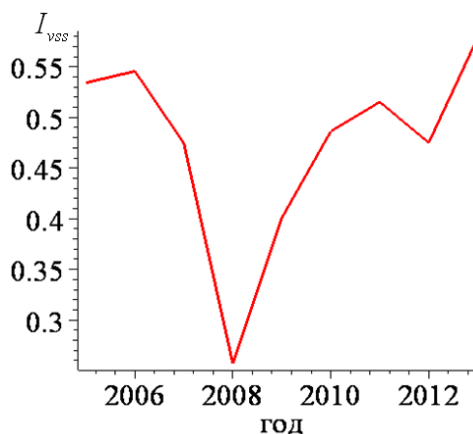


Рис. 1. Индекс выполнения системы содержания локомотивного парка

Плановая программа деповских ремонтов рассчитывается по следующим формулам:

$$M_{TR3} = \frac{\sum MS}{L_{TR3}}; M_{TR2} = \frac{\sum MS}{L_{TR2}} - M_{TR3};$$

$$M_{TR1} = \frac{\sum MS}{L_{TR1}} - M_{TR2}; M_{TO3} = \frac{\sum MS}{L_{TO3}} - M_{TR1},$$

где  $M_{TR3}, M_{TR2}, M_{TR1}, M_{TO3}$  – количества соответствующих видов ремонтов;

$\sum MS$  – годовой линейный пробег локомотивов;

$L_{TR3}, L_{TR2}, L_{TR1}, L_{TO3}$  – нормы межремонтных пробегов для соответствующего вида ремонта.

Результаты расчетов показаны в табл. 3

Выполнение плана по ремонтам показано в табл. 4–7 и на рис.2–5.

Таблица 2

Фактическое выполнение плана по ремонтам локомотивов

Год	ТО3	ТР1	ТР2	ТР3	Неплановые ремонты	Неплановые ремонты на 1 млн. км	Пробег, млн. км	Пробег, км
2006	1700	1858	125	50	705	13,86	50,87	50 865 801
2007	1740	1898	108	53	679	12,9	52,64	52 635 659
2008	1637	1748	93	70	767	14,44	53,12	53 116 343
2009	1494	1639	138	59	676	14,72	45,92	45 923 913
2010	1521	1697	140	55	836	17,6	47,50	47 500 000
2011	1544	1782	121	78	1156	23,25	49,72	49 720 430
2012	1410	1670	111	62	3013	62,18	48,46	48 456 095
2013	1306	1569	131	63	2796	60,69	46,07	46 070 193

Таблица 3

Нормативные количества ремонтов

Год	Виды ремонтов			
	ТО3	ТР1	ТР2	ТР3
2006	1 841	1 550	145	145
2007	1 905	1 604	150	150
2008	1 922	1 619	152	152
2009	1 662	1 400	131	131
2010	1 719	1 448	136	136
2011	1 799	1 515	142	142
2012	1 754	1 477	138	138
2013	1 667	1 404	132	132

Таблица 4

Выполнение ТО3, в % от плана

Год	ТО3 план	ТО3 факт	ТО3 выполнение, %
2006	1 841	1700	0,92
2007	1 905	1740	0,91
2008	1 922	1637	0,85
2009	1 662	1494	0,90
2010	1 719	1521	0,88
2011	1 799	1544	0,86
2012	1 754	1410	0,80
2013	1 667	1306	0,78

Таблица 5

Выполнение ТР1, в % от плана

Год	ТР1 план	ТР1 факт	ТР1 выполнение, %
2006	1 550	1858	1,20
2007	1 604	1898	1,18
2008	1 619	1748	1,08
2009	1 400	1639	1,17
2010	1 448	1697	1,17
2011	1 515	1782	1,18
2012	1 477	1670	1,13
2013	1 404	1569	1,12

Таблица 6

Выполнение ТР2, в % от плана

Год	ТР2 план	ТР2 факт	ТР2 выполнение, %
2006	145	125	0,86
2007	150	108	0,72
2008	152	93	0,61
2009	131	138	1,05
2010	136	140	1,03
2011	142	121	0,85
2012	138	111	0,80
2013	132	131	1,00

Таблица 7

Выполнение ТР3, в % от плана

Год	ТР3 план	ТР3 факт	ТР3 выполнение, %
2006	145	50	0,34
2007	150	53	0,35
2008	152	70	0,46
2009	131	59	0,45
2010	136	55	0,41
2011	142	78	0,55
2012	138	62	0,45
2013	132	63	0,48

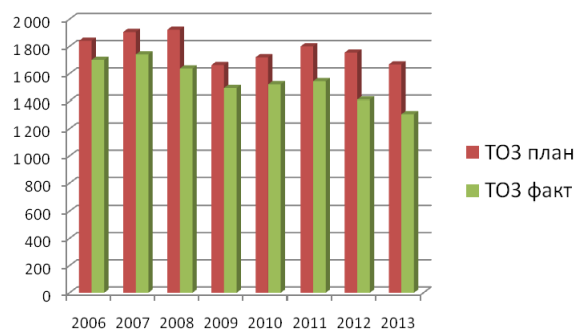


Рис. 2. Выполнение ТО3

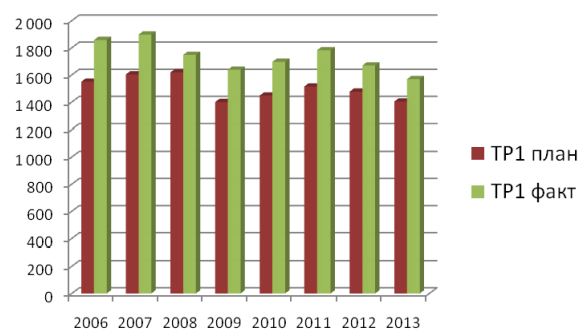


Рис. 3. Выполнение ТР1

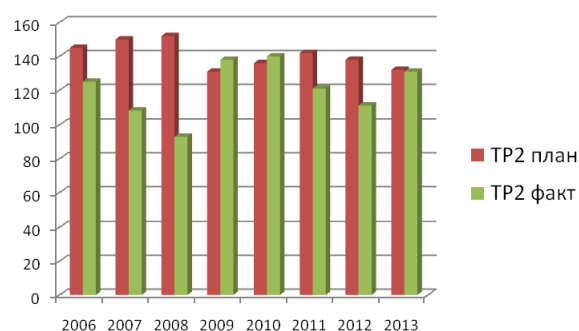


Рис. 4. Выполнение ТР2

Обобщив полученные результаты, получим средний процент выполнения плановых ремонтов.

Проведем сравнение фактического выполнения плана ремонтов и построенного на основании метода главных компонент и метода ана-

лиза иерархий индекса выполнения системы содержания (табл.8 и рис.6).

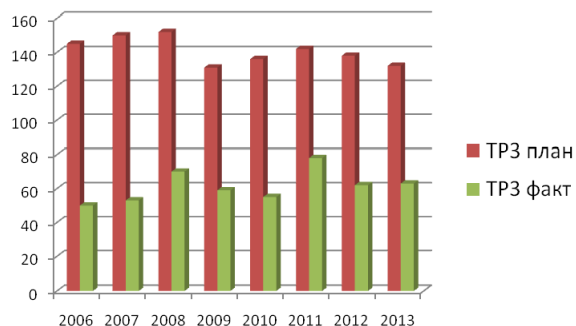


Рис. 5. Выполнение ТРЗ

Таблица 8

**Средний процент выполнения плана ремонтов и индекс**

Год	Средний процент выполнения плана ремонтов ( $P_s$ )	Индекс ( $I_{vss}$ )
2006	0,831	0,545
2007	0,791	0,474
2008	0,751	0,256
2009	0,892	0,401
2010	0,873	0,486
2011	0,858	0,515
2012	0,796	0,475
2013	0,843	0,578

Далее, для проверки гипотезы равенства математических ожиданий этих случайных величин рассчитаем  $t$ -критерий Стьюдента (7 степеней свободы, вероятность ошибки  $p = 0.001$ ) –  $t = 11.66$ . При этом граничное значение  $t$ -критерия составляет 5.41, что говорит о принадлежности эмпирического значения зоне значимых результатов.

Для более детального изучения взаимосвязи данных показателей рассмотрим индекс ( $I_{vss}$ ) как функцию от среднего процента ( $P_s$ ) выполнения плана ремонта (рис.7).

Аппроксимировав данные полиномом, получим следующую зависимость индекса как функции от среднего процента выполнения плана ремонта:

$$I_{vss} = -29.8 + 72.9x - 43.7x^2.$$

**Выводы**

Построен индекс выполнения системы содержания электроподвижного парка дороги – единый показатель, позволяющий количественно оценить ее качество.

Определена функциональная зависимость индекса от среднего процента выполнения плана ремонтов.

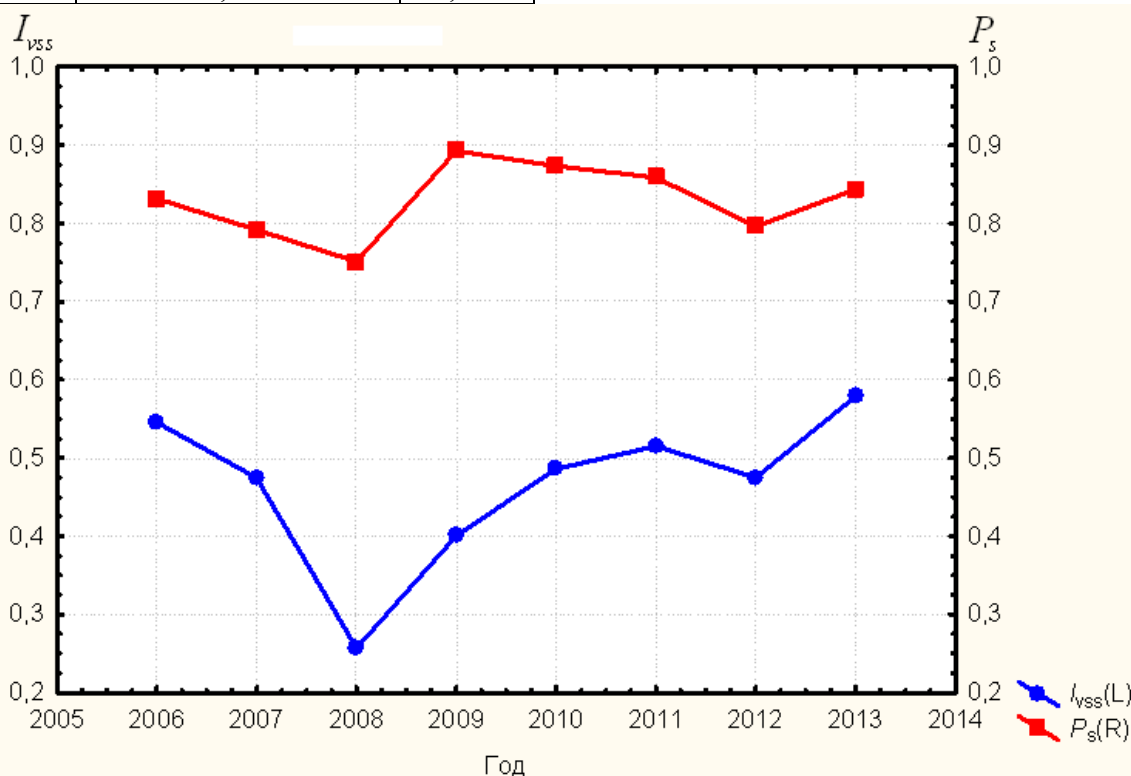


Рис. 6. Динамика изменения среднего процента выполнения плана ремонтов ( $P_s$ ) и индекса ( $I_{vss}$ )

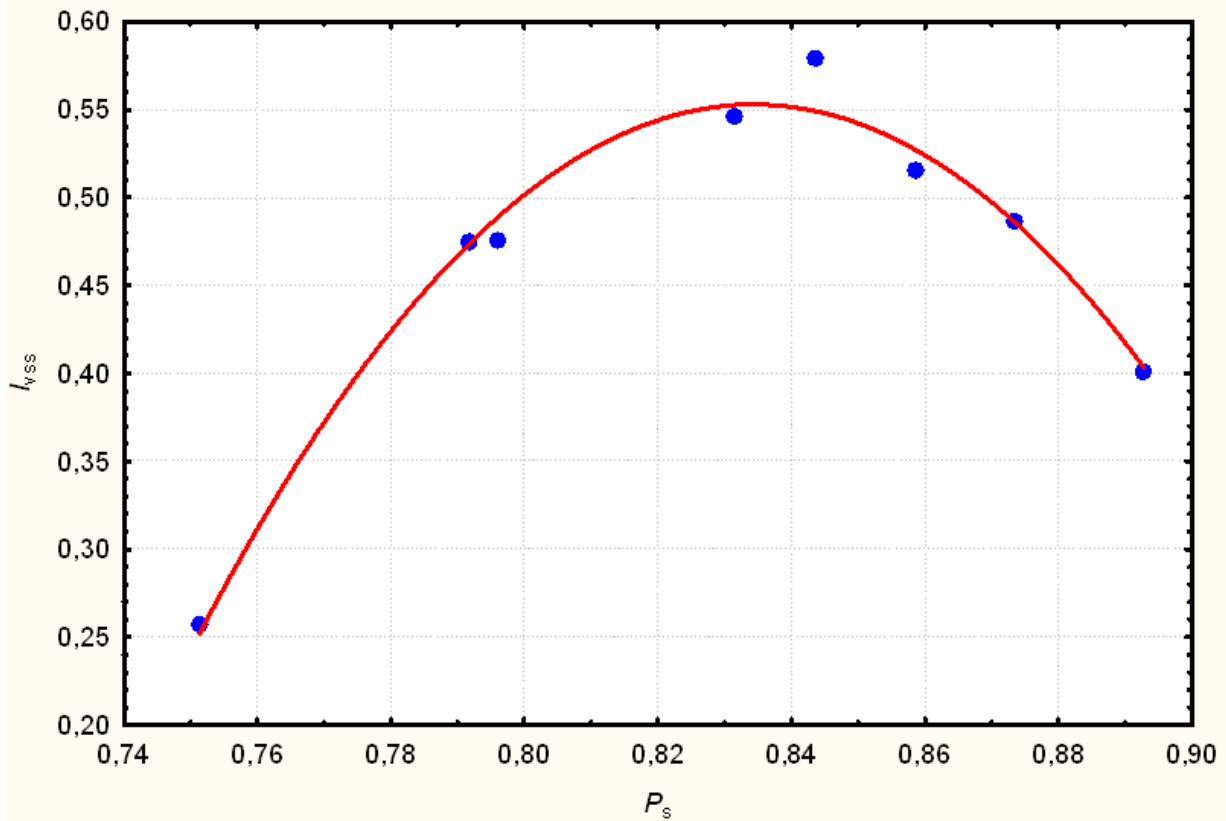


Рис. 7. Взаимосвязь индекса и среднего процента выполнения плана ремонтов

Предложен новый подход к оцениванию параметров системы содержания парка ЭПС. Получено количественное выражение качественных изменений системы технического обслуживания и ремонта.

Использование индекса выполнения системы содержания позволит определять качество проведения технического обслуживания и ремонта электроподвижного состава, а также принимать оперативные решения по регулированию

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Виноградов Ю. Н. Выбор показателей использования электровозов для дифференцирования норм пробегов между их ремонтами / Ю. Н. Виноградов // Вестник ВНИИЖТ. – 1975. – № 7. – С. 6–9.
2. Виноградов Ю. Н. Совершенствование периодичности ремонтов грузовых электровозов / Ю. Н. Виноградов, В. М. Левитский // Тр. ВНИИЖТа. – М., 1983. – Вып. 671. – С. 3–16.
3. Черняков А. А. Повышение эффективности функционирования тепловозов железных дорог: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. А. Черняков. – Л., 1988. – 50 с.
4. Капранов Н. Н. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта грузовых электровозов в полигоне их обращения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. Н. Капранов. – М., 1987. – 21 с.
5. Исаев И. П. Разработка оптимальной системы ремонта / И. П. Исаев, С. Н. Журавлев, В. И. Седов //

ванию и корректированию системы содержания парка ЭПС дороги.

А также, использование полученного индекса позволит проводить оценку качественных изменений в системе содержания всего локомотивного парка дороги.

Данный показатель может быть полезен при проведении анализа работы ремонтной службы, а также работы парка ЭПС дороги.

#### REFERENCES

1. Vinogradov Yu. V. Vybor pokazateley ispolzovaniya elektrovozov dlya differentsirovaniya norm probegov mezhdru ikh remontami [Selection of indicators for the use of electric locomotives differentiation of norms runs between their repairs]. Vestnik VNIIZHTA - Vestnik of the Railway Research Institute, 1975, № 7, pp. 6-9.
2. Vinogradov Yu. V. Sovershenstvovanie periodichnosti remontov gruzovykh elektrovozov [Improving the frequency of repairs freight locomotives]. Tr. VNIIZHTA, 1983, issue 671, pp.3-16.
3. Chernyakov A. A. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya teplovozov zhelezykh dorog [Improving the efficiency of railways locomotives]: avtoref. dis. Dr.Sci.Tech, Lvov, 1988, p.50.
4. Kapranov N. N. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta gruzovykh elektrovozov v poligone ikh obrashcheniya [Improving the system of maintenance and repair of electric freight locomotives in the polygon of circulation]: avtoref. dis Candidate of

Железнодорожный транспорт. – 1970. – № 10. – С. 40–44.

6. Босов А. А. Теоретические основы и методика расчета плановых восстановлений локомотивов и вагонов: дис. ... д-ра техн. наук / А. А. Босов. – Л., 1986. – 283 с.

7. Босов А. А. Определение рациональной системы содержания технических объектов при кусочно-линейной аппроксимации H-характеристики / А. А. Босов, Г. И. Семенец; Днепропетр. ин-т инженеров трансп. – Д., 1979. – 17 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС. № 1410.

8. Босов А. А. Определение оптимальных периодов диагностирования узлов тепловозов / А. А. Босов, Б. Е. Боднар; Днепропетр. ин-т инженеров трансп. – Д., 1986. – 7 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 01.12.86. № 3792-ж. д.

9. Босов А. А. Теоретические основы расчета рациональной системы планового восстановления технических объектов железнодорожного транспорта / А. А. Босов; Днепропетр. ин-т инженеров трансп. – Д., 1983. – 255 с. – № ГР 01830062337.

10. Босов А. А. Прогнозирование износа бандажей колесных пар и определение рациональной периодичности их обточки / А. А. Босов, А. А. Дроздов, Д. А. Курасов // Тр. Днепропетр. ин-та инженеров трансп. – Д., 1972. – Вып. 134. – С. 137–146.

11. Босов А. А. Рациональное восстановление электроаппаратов агрегата ПЭ-2М / А. А. Босов, В. В. Соловьев // Промышленный транспорт. – 1977. – № 6. – С. 18 – 23.

12. Лоули Д. Факторный анализ как статистический метод / Д. Лоули, А. Максвелл. – М.: Мир, 1967. – 144 с.

13. Ногин В. Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев / В. Д. Ногин. – С.-Петербург, 2004. – 17 с.

Поступила в печать 20.05.2015.

Technical Sciences, Moscow, 1987, p.21.

5. Isaev I. P., Zhuravlev S. N., Sedov V. I. Razrabotka optimalnoy sistemy remonta [Development of an optimal repair system]. Zheleznodorozhnyi transport - railway transport, 1970, № 10, pp. 40-44.

6. Bosov A. A. Teoreticheskie osnovy I metodika rascheta planovykh vosstanovleniy lokomotivov I vagonov [Theoretical bases and methods of calculation of planned restorations locomotives and wagons]: dis. Dr.Sci.Tech, Lvov, 1986, p. 283.

7. Bosov A. A., Semenets G. I. Opredelenie ratsionalnoy sistemy soderzhaniya tekhnicheskikh obektov pri kusochno-lineynoy approksimatsii H-kharakterstiki [The definition of a rational maintenance system of technical objects of the piecewise linear approximation H Specifications]. DNUZHT, 1979, № 1410, 17 p.

8. Bosov A. A., Bodnar B. E. Opredelenie optimalnykh periodov diagnostirovaniya uzlov teplovozov [Determination of the optimal periods of diagnosing nodes locomotives]. DNUZHT, Dnepropetrovsk, 1986, № 3792, 7 p.

9. Bosov A. A. Teoreticheskie osnovy rascheta ratsionalnoy sistemy planovoy vosstanovleniya tekhnicheskikh obektov zheleznodorozhnogo transporta [Theoretical bases of calculation of a rational system of planned restoration of technical objects of railway transport]. DNUZHT, Dnepropetrovsk, 1983, 255 p., № GR 01830062337.

10. Bosov A. A., Drozdov A. A., Kurasov D. A. Prognozirovaniye iznosa bandazhey kolesnykh par i opredeleniye ratsionalnoy periodichnosti ikh obtochki [Prediction wear bandages wheelsets and rational definition of periodicity of turning]. Tr. Dnepropetr. In-ta inzhenerov transp., Dnepropetrovsk, 1972, issue 134, pp. 137-146

11. Bosov A. A., Solovev V. V. Ratsionalnoye voss-tanovleniye elektroapparatov agregata PE-2M [Efficient recovery unit electroapparatuses PE-2M]. Promyshlenniy transport – industrial Transport, 1977, issue 6, pp. 18-23.

12. Lawley D. N., Maxwell A. E. Factor analysis as a statistical method. Moscow, Mir, 1967, 144 p.

13. Nogin V. D. Uproshchenniy variant metoda analiza ierarkhiy na osnove nelineynoy svertki kriteriev [A simplified version of the analytic hierarchy process based on non-linear convolution of criteria]. S-Peterburg, 2004, 17 p.

Внутренний рецензент *Кузнецов В. Г.*

Внешний рецензент *Сокол Е. И.*

Целью статьи является разработка методов количественной оценки качественных изменений в системе содержания парка электроподвижного состава дороги. Для количественной оценки качественных изменений в системе технического обслуживания и ремонта электроподвижного состава дороги предлагается использовать индекс выполнения системы содержания. Данный показатель строится на основании статистической информации о фактическом выполнении программы ремонтов для локомотивного парка дороги. На первом этапе с помощью метода главных компонент производится редукция исходных данных. На втором этапе полученные главные компоненты объединяются методом анализа иерархий в единый обобщенный показатель – индекс выполнения системы содержания. В результате работы построен индекс выполнения системы содержания локомотивного парка дороги. Показана взаимосвязь данного индекса и среднего процента выполнения плана ремонта. Предложен новый подход к оцениванию параметров системы содержания парка электроподвижного состава. Получено количественное выражение качественных изменений системы технического обслуживания и ремонта. Использование индекса выполнения системы содержания позволит определять качество проведения технического обслуживания и ремонта электроподвижного состава, а также принимать оперативные решения по регулированию и корректированию системы содержания локомотивного парка дороги.

**Ключевые слова:** система содержания локомотивного парка; метод главных компонент; метод анализа иерархий.

УДК 629.4.083 : 519.23

П. О. ЛОЗА, Т. С. ГРИШЕЧКИНА (ДНУЗТ)

Кафедра «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010 Дніпропетровськ, Україна, ORCID: [orcid.org/0000-0002-6698-5639](https://orcid.org/0000-0002-6698-5639)

Кафедра «Вища математика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010 Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(0562)362604, ел.пошта: [gitann@rambler.ru](mailto:gitann@rambler.ru), ORCID: [orcid.org/0000-0003-1570-4150](https://orcid.org/0000-0003-1570-4150)

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ

Метою статті є розробка методів кількісної оцінки якісних змін у системі утримання парку електрорухомого складу залізниць. Для кількісної оцінки якісних змін у системі технічного обслуговування і ремонту електрорухомого складу залізниць пропонується використовувати індекс виконання системи утримання. Даний показник будується на підставі статистичної інформації про фактичне виконання програми ремонтів для локомотивного парку залізниць. На першому етапі за допомогою методу головних компонент проводиться редукція вихідних даних. На другому етапі отримані головні компоненти об'єднуються методом аналізу ієрархій в єдиний узагальнений показник – індекс виконання системи утримання. У результаті роботи побудовано індекс виконання системи утримання парку електрорухомого складу залізниць. Показано взаємозв'язок даного індексу і середнього відсотка виконання плану ремонту локомотивів. Запропоновано новий підхід до оцінювання параметрів системи утримання парку електрорухомого складу. Отримано кількісне вираження якісних змін системи технічного обслуговування і ремонту. Використання індексу виконання системи утримання дозволить визначати якість проведення технічного обслуговування та ремонту електрорухомого складу, а також приймати оперативні рішення щодо регулювання та коригування системи утримання локомотивного парку залізниць.

**Ключові слова:** система утримання локомотивного парку; метод головних компонент; метод аналізу ієрархій.

Внутрішній рецензент *Кузнецов В. Г.*

Зовнішній рецензент *Сокол Є. І.*

UDC 629.4.083 : 519.23

P. A. LOZA, T. S. GRISHECHKINA (DNURT)

Department of electric rolling stock of railways, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, ORCID: [orcid.org/0000-0002-6698-5639](https://orcid.org/0000-0002-6698-5639)

Department of higher mathematics, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel.: +38(0562)362604, e-mail: [gitann@rambler.ru](mailto:gitann@rambler.ru), ORCID: [orcid.org/0000-0003-1570-4150](https://orcid.org/0000-0003-1570-4150)

## ESTIMATION OF THE QUALITY OF IMPLEMENTATION ELECTRIC ROLLING STOCK MAINTENANCE SYSTEM

The aim of the article is to develop methods for quantify the qualitative changes in the electric rolling stock maintenance system. To quantify the qualitative changes in the system of maintenance and repair of an electric rolling stock is proposed to use the index of the maintenance system implementation. This indicator is constructed on the basis of statistical information on the actual implementation of the repairs locomotives program. In the first step using principal component analysis held original data reduction. At the second stage, the principal components combined by the hierarchy analysis method into a single generalized index – the index of the maintenance system implementation. A result of work the index of the locomotives maintenance system implementation is built. The interrelation of the index and the average percentage of the plan repairs is shown. A new approach to the estimation of the locomotives maintenance system parameters is proposed. A quantitative expression of qualitative changes in the system of maintenance and repair is obtained. Using the index of the maintenance system implementation possible to determine the quality of maintenance and repair of an electric rolling stock, as well as to make operational decisions for regulation and the correction of locomotives maintenance system.

**Keywords:** electric rolling stock; repair system; mathematical modeling; principal component analysis; hierarchy analysis.

Internal reviewer *Kuznetsov V. G.*

External reviewer *Sokol E. I.*

© Лоза П. А., Гришечкина Т. С., 2015