

**ИННОВАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ
ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА**

**ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСОБРАЗНОСТИ
УСКОРЕНИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК**

**КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ
ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ
ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

**ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕЖОГА ИЗОЛИРУЮЩЕГО СОПРЯЖЕНИЯ
ПРИ ПОДАЧЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОТКЛЮЧЕННЫЙ
И ЗАЗЕМЛЕННЫЙ УЧАСТОК КОНТАКТНОЙ СЕТИ
С ПОСТОМ СЕКЦИОНИРОВАНИЯ**



МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. Александр Ефимов, профессор, главный редактор журнала «Транспорт Урала», Екатеринбург, Россия
2. Александер Сладковски, д-р техн. наук, профессор, Силезский технический университет, Польша
3. Эдуард Горкунов, д-р техн. наук, профессор, член-кор. РАН, Россия
4. Аксель Шмидер, д-р, «Сименс АГ», отраслевой сектор, департамент транспорта «Железнодорожное строительство», Эрланген, Германия
5. Эрки Хамалайнен, доктор экон. наук, университет Аалто, Школа экономики, Финляндия
6. Валерий Доманский, д-р техн. наук, профессор Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. Асадченко Виталий Романович, д-р техн. наук, профессор, научный редактор, Екатеринбург
2. Боровских Александр Михайлович, канд. техн. наук, профессор, Екатеринбург
3. Галиев Ильхам Исламович, д-р техн. наук, профессор, Омск
4. Грицык Валерий Иванович, д-р техн. наук, профессор, Ростов
5. Козлов Петр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, Москва
6. Комаров Константин Леонидович, д-р техн. наук, профессор, Новосибирск
7. Лапшин Василий Федорович, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
8. Ларин Олег Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Челябинск
9. Ледяев Александр Петрович, д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербург
10. Резник Леонид Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, Тюмень
11. Румянцев Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, с.н.с., Екатеринбург
12. Сай Василий Михайлович, д-р техн. наук, профессор, зам. главного редактора, Екатеринбург
13. Смольянинов Александр Васильевич, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
14. Туранов Хабибулла Туранович, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
15. Умняшкин Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, Ижевск
16. Хоменко Андрей Павлович, д-р техн. наук, профессор, Иркутск

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

1. Alexander Efimov, professor, editor-in-chief of the journal «Ural Transport», Ekaterinburg, Russia
2. Aleksander Sladkowski, professor, Silesian University of Technology, Poland
3. Eduard Gorkunov, DSc, professor, corresponding member of Russian Academy of Sciences, Russia
4. Axel Schmieder, DSc, Siemens AG, Industry Sector, Mobility Division, Transportation Engineering, Erlangen, Germany
5. Erkki Hamalainen, DSc, Aalto University School of Economics, Finland
6. Valery Domansky, DSc, professor of National technical University «Kharkiv politechnical institute», Kharkiv, Ukraine

EDITORIAL BOARD

1. Asadchenko Vitaly Romanovich, DSc, professor, scientific editor, Ekaterinburg
2. Aleksandr Mikhailovich Borovskikh, PhD, Professor, Ekaterinburg
3. Galiev Ilkham Islamovich, DSc, professor, Omsk
4. Gritsyk Valery Ivanovich, DSc, professor, Rostov
5. Kozlov Petr Alekseevich, DSc, professor, Moscow
6. Komarov Konstantin Leonidovich, DSc, professor, Novosibirsk
7. Lapshin Vasily Fedorovich, DSc, professor, Ekaterinburg
8. Larin Oleg Nikolaevich, DSc, professor, Chelyabinsk
9. Ledyaev Alexandr Petrovich, DSc, professor, Saint-Petersburg
10. Reznik Leonid Grigorievich, DSc, professor, Tumen
11. Rumyantsev Sergey Alekseevich, DSc, senior staff scientist, Ekaterinburg
12. Say Vasily Mikhailovich, DSc, professor, deputy editor-in-chief, Ekaterinburg
13. Smolyaninov Alexandr Vasilievich, DSc, professor, Ekaterinburg
14. Turanov Khabibulla Turanovich, DSc, professor, Ekaterinburg
15. Umnyashkin Vladimir Alekseevich, DSc, professor, Izhevsk
16. Khomenko Andrey Pavlovich, DSc, professor, Irkutsk

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА

Самуйлов В.М., Фирстов С.В., Правдин С.С. / **Инновационная модель информационно-логистического центра** 3

Бабенко Э.Г., Кузьмичев Е.Н., Лихачев Е.А. / **Разработка шихты электродов на основе комплексного использования минерального сырья для восстановления деталей железнодорожного транспорта** 8

Миронов В.И., Емельянов И.Г., Якушев А.В., Лукашук О.А. / **Разработка экспресс-метода для контроля свойств вагонных сталей** 13

Зубков В.В., Смольянинов А.В. / **Концепция взаимодействия региональных дирекций инфраструктуры на границах железных дорог** 18

Давыдов А.В., Островский А.М., Пикалин Ю.А. / **Планирование модернизации и реконструкции предприятий транспортного машиностроения** 22

Аккерман Г.Л., Аккерман С.Г. / **Организационное структурирование обеспечения безопасной эксплуатации транспортной инфраструктуры** 28

ВАГОНЫ И ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО

Эдгар Бланко Виана / **Моделирование акустики колеса методом конечных элементов с применением элементов бесконечного типа (на англ.)** 32

Кротов С.В., Сладковский А. / **Факторный анализ расчета несущей способности колесной пары вагона** 36

Бачурин Н.С. Балашков А.В., Попкова А.А. / **Особенности работы буксового подвешивания с упруговключенным фрикционным гасителем колебаний тележки пассажирского вагона** 41

Козлов П.В. / **Влияние подвижности груза на запас устойчивости от опрокидывания вагона-платформы сочлененного типа** 44

Долгих К.О., Лапшин В.Ф. / **Методика компьютерного моделирования нагруженности механической системы кибромашина – кузов полувагона – тележка** 50

Бачурин Н.С. Ляшенко С.Е. / **Анализ статистических данных по количеству изломов трещин и дефектов боковых рам тележек грузовых вагонов** 55

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

Корнилов С.Н., Рахмангулов А.Н., Фридрихсон О.В. / **Обоснование экономической целесообразности ускорения контейнерных перевозок** 58

Ковалев Р.Н., Боярский С.Н. / **Теоретическое обоснование общей модели определения задержки транспорта на пересечениях автомобильных дорог** 64

Покровская О.Д. / **Выбор наилучшего варианта терминальной сети и проверка его устойчивости** 70

Смольянинов А.В., Сирина Н.Ф., Юшков М.Е. / **Разработка управленческих решений по эффективному использованию малодетальных железнодорожных линий** 75

Плахотич С.А. / **Повышение пропускной способности железнодорожных направлений на основе обращения блок-поездов** 81

Брусаянин Д.А., Вихарев С.В., Шека А.С. / **Интеллектуальная система анализа пассажиропотоков с использованием технического зрения** 86

Брусаянин Д.А., Казаков А.Л. / **Определение интегрального пассажиропотока на территории региона** 90

Васильев В.И., Борщенко Я.А., Димова И.П. / **Оптимизация пассажирских транспортных средств на городских маршрутах** 94

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

Асадченко В.Р. / **Концепция создания тормозных систем нового поколения для железнодорожного транспорта** 98

Асадченко В.Р. / **Организационно-техническое регулирование создания перспективных комплексов безопасности из тормозных приборов** 104

Асадченко В.Р. / **Организационные аспекты совершенствования тормозных устройств промышленного железнодорожного транспорта** 107

Копачев С.В. / **Совершенствование технологической подготовки ремонта подвижного состава** 111

Глушко М.И. / **Тормозные средства безопасности движения** 116

Глушко М.И. / **Системное обслуживание тормозов поезда** 118

ПУТЬ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Исаков А.Л., Ким Хюн Чол / **Теплофизическая дискретная модель промерзания грунта земляного полотна** 121

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Жарков Ю.И., Фигурнов Е.П., Королев В.П., Соломин В.А. / **Защита от перегоя изолирующего сопряжения при подаче напряжения на отключенный и заземленный участок контактной сети с постом секционирования** 125

Аржаников Б.А., Фролов Л.А., Штин А.Н. / **Оценка мощности тиристорных устройств переключения отводов обмотки трансформатора** 129

GENERAL TRANSPORT PROBLEMS

Samuilov V.M., Firstov S.V., Pravdin S.S. / **Innovation model of information-logistic center** 3

Babenko E.G., Kuzmichev E.N., Likhachev E.A. / **Development of electrode's batch mixture on the base of complex minerals' use for details' renovation of railway transport** 8

Mironov V.I., Emelyanov I.G., Yakushev A.V., Lukashuk O.A. / **Development of rapid method for car steel quality control** 13

Zubkov V.V., Smoljaninov A.V. / **Concept of interaction of infrastructure regional boards on railway borders** 18

Davydov A.V., Ostrovsky A.M., Pikalin Yu.A. / **Stability of transport system functioning as a method for management organization** 22

Akkerman G.L., Akkerman S.G. / **Organizational structuring of providing safe transport infrastructure exploitation** 28

RAILWAY CARS AND FACILITIES

Viana E.B. / **Wheel acoustic simulation: development of a fem model with infinite elements** 32

Krotov S.V., Sladkowski A. / **Factor analysis of bearing capacity calculation of railcar's wheel set** 36

Bachurin N.S. Balashkov A.V. / **Operation trends of axlebox suspension with elastic intercalated friction shock absorber for passenger car bogie** 41

Kozlov P.V. / **Influence of cargo mobility on stability factor from flat car of articulated type turning over** 44

Dolgykh K.O., Lapshin V.F. / **The method for computer simulation of mechanical system loading "vibromachines – open car body – bogie"** 50

Bachurin N.S. Lyashenko S.E. / **The analysis of statistical data of cracks' fractures and defects of side frames of freight car bogies** 55

THE ORGANIZATION OF THE TRANSPORTATION PROCESS

Kornilov S.N., Rakhmangulov A.N., Fridrikhson O.V. / **Justification of cost efficiency of container shipment speeding up** 58

Kovalev R.N., Boyarsky S.N. / **Theoretical substantiation of a model for detection of transport delays on motor roads' crossing** 64

Pokrovskaya O.D. / **Choice of the best variant of a terminal network and check of its stability** 70

Smolyaninov A.V., Sirina N.F., Yushkov M.E. / **Managerial decisions making for little-used railway lines efficient use** 75

Plakhotich S.A. / **Traffic capacity increase of railway directions based on block train handling** 81

Brusyanin D.A., Vikharev S.V., Sheka A.S. / **Intelligent system of passenger traffic flow analysis with use of computer vision** 86

Brusyanin D.A., Kazakov A.L. / **Identification of integral passenger traffic flow on the region territory** 90

Vasiljev V.I., Borshchenko Ja.A., Dimova I.P. / **Passenger transport means optimization on urban routes** 94

ROLLING STOCK AND TRACTION

Asadchenko V.R. / **Concept of developing new generation braking systems for railway transport** 98

Asadchenko V.R. / **Organizational and technical regulation of establishing perspective safety complexes from braking devices** 104

Asadchenko V.R. / **Organizational aspects of improving braking devices of industrial railway transport** 107

Kopachev S.V. / **Improvement of rolling-stock repair technological preparation** 111

Glushko M.I. / **Braking means of traffic safety** 116

Glushko M.I. / **Systematic maintenance of train brakes** 118

CONSTRUCTION AND OPERATION OF RAILWAYS

Isakov A.L., Kim Khyun Chol / **Thermal discrete model of soil freezing of roadbed** 121

ELECTRIC SUPPLY

Zharkov Y.I., Figurnov E.P., Korolev V.P., Solomin V.A. / **Protection from burning-out of isolating coupling when applying voltage on a tripped and grounded catenary section with a section pillar** 125

Arzhannikov B.A., Frolov L.A., Shtin A.N. / **Power evaluation of thyristor devices of switching transformer winding bends** 129

УДК УДК 629.4.027

Сергей Викторович Кротов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительная механика» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС),
Александр Сладковски, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Логистика и промышленный транспорт», замдекана Силезского технического университета, Катовице, Польша

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ВАГОНА

Sergey V. Krotov, PhD, associate professor of "Structural mechanics" department, Rostov State Transport University (RSTU),

Aleksander Śladkowski, DSc, prof., head of "Logistics and industrial transport" department, deputy dean of Silesian University of Technology (Katowice, Poland)

Factor Analysis Of Bearing Capacity Calculation Of Railcar's Wheel Set

Аннотация

Методы факторного анализа были использованы для оценки надежности колесных пар подвижного состава. При этом выполнены основные задачи факторного анализа: сокращение информации и классификация переменных. На примере генерального фактора определен характер взаимосвязи между переменными. На основе регрессионных моделей факторов может быть выполнена оценка несущей способности колесной пары.

Ключевые слова: надежность колесной пары, факторный анализ, несущая способность.

Annotation

Methods of factor analysis were used for estimation of wheel sets' reliability of the rolling stock. The main tasks of factor analysis: reduction of information and classification of variables are performed. On the example of general factor the nature of the relations between variables is defined. The estimation of bearing capacity of wheel set can be made on the basis of regression models of factors.

Key words: reliability of wheel set, factor analysis, bearing capacity.

Наиболее ответственным элементом экипажной части вагона является колесная пара, от высокой несущей способности которой зависит надежная и безопасная работа подвижного состава и пути. Надежность такого ответственного узла определяется на основе множества параметров. Применение численных методов расчета [1, 2] предоставляет возможность оценить напряженно-деформированное состояние колесной пары, определить перемещения, деформации, значения температур в различных точках объекта.

В процессе численного эксперимента [3, 4] при исследовании напряженного и деформированного состояния (НДС) ее элементов, прочности и надежности соединения колеса и оси количество признаков, влияющих в той или иной степени на несущую способность колесной пары, может превосходить несколько десятков. Возникает необходимость в сокращении информации [5]: описание факторов, влияющих на несущую способность колесной пары меньшим числом показателей, отражающих существующие закономерности, которые невозможно измерить или рассчитать. Так, для измерения величины площади сцепления и скольжения в прессовом соединении невозможно поставить физический эксперимент без нарушения целостности соединения. Факторный анализ позволяет выделить признаки, наиболее существенно влияющие на несущую способность колесной пары.

Факторный анализ несущей способности колесной пары можно представить следующими направлениями [6]:

- определение структуры взаимосвязей между переменными, например связь между температурным воздействием и надежностью прессового соединения — задача классификации;
- косвенное оценивание признаков, не поддающихся непосредственному измерению, в частности величина зон скольжения в прессовом соединении;
- значительное сокращение количества факторов по сравнению с исходным количеством признаков;

- преобразование исходных переменных к удобному для интерпретации виду;
- оценка несущей способности колесной пары в эксплуатации при помощи регрессионных моделей по результатам факторного анализа.

Покажем основные положения факторного анализа на основе [7].

Здесь предполагается наличие случайной выборки $X_1^{p \times 1}, \dots, X_n^{p \times 1}$ из многомерного нормального распределения с вектором средних $\mu^{p \times 1} = (\mu_1, \dots, \mu_p)'$ и ковариационной матрицей $\Sigma^{p \times p} = (\sigma_{ij})$. Пусть $S^{p \times p} = (s_{ij})$ — выборочная ковариационная матрица $R^{p \times p} = (r_{ij})$ — выборочная корреляционная матрица, где $r_{ij} = \frac{s_{ij}}{(s_{ii}s_{jj})^{1/2}}, i, j = 1, \dots, p$.

Первой задачей факторного анализа будет определение по матрице S или R оценок l_{ij} факторных нагрузок λ_{ij} и оценок t_i специфических дисперсий $\tau_j, i = 1, \dots, p, j = 1, \dots, m$. Предпочтение отдаем корреляционной матрице R , потому что перед статистической оценкой переменные стандартизируются.

Метод определения главных факторов применим к корреляционной матрице. В этом методе прежде всего определяются оценки p главных компонент

$$Y_i = \sum_{j=1}^p \alpha_{ij} X_j, i = 1, \dots, p.$$

Имеет место следующая система уравнений относительно исходных переменных:

$$X_i = \sum_{j=1}^p \alpha_{ij} Y_j, i = 1, \dots, p.$$

В методе определения главных факторов в качестве определяющих берется m главных компонент, которые взвешиваются следующим образом:

$$F_j = \frac{Y_j}{[V(Y_j)]^{1/2}}, j = 1, \dots, m.$$

Оценками факторных нагрузок служат величины

$$l_{ij} = \alpha_{ji} [V(Y_j)]^{1/2}, i = 1, \dots, p, j = 1, \dots, m,$$

а оценки специфических факторов задаются следующими равенствами:

$$e_i = \sum_{j=m+1}^p \alpha_{ji} Y_j, i = 1, \dots, p.$$

Полная оценка факторной модели имеет вид

$$X_i = \sum_{j=1}^m l_{ij} F_j + e_i, i = 1, \dots, p.$$

Получаемые факторы имеют единичные дисперсии и взаимно не коррелированы.

Расчету подвергалась модель современной колесной пары грузового вагона железных дорог РФ. В качестве варьируемых независимых параметров приняты: вертикальная нагрузка на ось, равная 216—245 кН; горизонтальная нагрузка на колесо 60—120 кН; крутящий момент 0—1700 кН·см. Эксцентриситет точки контакта с рельсом (по отношению к центру соединения колеса и оси) равнялся 2,8—7,5 см; толщина обода колеса 2,2—7 см; режим торможения отсутствовал или представлялся на уровне экстренного торможения в течение 48 с (подводимый тепловой поток составлял 151,5 кВт) и служебного торможения в течение 1200 с (тепловой поток равнялся 39,44 кВт) [8]. В результате расчета колесной пары [3, 4], а это полный факторный эксперимент — 96 расчетов [9], получены параметры напряженного и деформированного состояния объекта в различных точках обода, колеса, а также в соединении колеса с осью.

Символами S и T обозначены нормальные σ и касательные τ составляющие напряжений, вторые и третьи индексы при них — направления напряжений (табл. 1). Напряжения в различных точках с обозначением *max* и *min* относятся к колесу, а без них — к прессовому соединению колеса и оси. Обозначения перемещений в соединении колеса и оси X, Y, Z — соответственно горизонтальное, вертикальное и вдоль оси колесной пары. Обозначение ZSK представляет собой величину зон скольжения в прессовом соединении колесной пары [10, 11].

Матрица корреляций подвергается вращению методом *varimax* как наиболее апробированным [7].

В табл. 2 собственных чисел корреляционной матрицы 8 извлеченных факторов, имеющих собственные числа более 1, объясняют 83% дисперсии. Это достаточный показатель для дальнейшего анализа [7].

При определении числа факторов следует опираться на так называемый тест «сломанная трость» [7], учитывающий «значашие» собственные числа (см. табл. 2), по которому можно оставить 4 фактора. Первые пять факторов объясняют 75% общей дисперсии, и при быстром оценивании можно остановиться на интерпретации именно этого количества факторов.

В качестве завершающей операции в данном исследовании построим факторную модель. Выразим параметр, определяющий несущую способность соединения «площадь зон скольжения», ZSK , используя данные табл. 1 через выделенные факторы:

$$ZSK = 0,170f_1 + 0,733f_2 - 0,278f_3 + 0,061f_4 - 0,006f_5 - 0,209f_6 - 0,117f_7 - 0,205f_8.$$

Представим генеральный фактор по данным табл. 1:

$$F_1 = 0,002V_1 - 0,076V_2 + 0,017V_3 + 0,267V_4 + 0,084V_5 - 0,297V_6 - 0,904V_7 + 0,313V_8 - 0,658V_9 + 0,518V_{10} + 0,090V_{11} + 0,170V_{12} + 0,113V_{13} - 0,100V_{14} + 0,941V_{15} +$$

$$\begin{aligned}
 &+ 0,372V_{16} + 0,952V_{17} - 0,375V_{18} + 0,983V_{19} - 0,458V_{20} + \\
 &+ 0,978V_{21} + 0,452V_{22} + 0,913V_{23} - 0,915V_{24} + 0,844V_{25} - \\
 &- 0,448V_{26} + 0,235V_{27} - 0,644V_{28} + 0,566V_{29} - 0,327V_{30} + \\
 &+ 0,529V_{31} - 0,012V_{32} + 0,201V_{33} - 0,175V_{34} - \\
 &- 0,082V_{35} - 0,813V_{36} - 0,157V_{37} + 0,840V_{38}.
 \end{aligned}$$

Любой выделяемый фактор представляет собой линейную комбинацию переменных, участвующих в факторном анализе, что упрощает расчеты.

По данной модели видно влияние той или иной переменной, определяемое и знаком, и величиной, на значение выделенного фактора.

На основании проведенного факторного анализа возможная следующая содержательная интерпретация факторного отображения на основании табл. 1.

Первый фактор предположительно должен отражать напряженное состояние колесной пары, в частности диска и обода колеса. В соответствии с номерами переменных этот фактор связан с переменными $V_{15} = 0,941$, $V_{17} = 0,952$, $V_{19} = 0,983$, $V_{21} = 0,978$, $V_{23} = 0,913$, $V_{25} = 0,844$. Здесь высокие нагрузки на компоненты имеют максимальные значения полученных в результате расчета колесной пары напряжений — составляющих тензора напряжений: σ_{M2} , σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{xz} .

В зоне прессового соединения высокие нагрузки имеют переменные σ_{M2} — $V_{29} = 0,566$, σ_y — $V_{31} = 0,529$; перемещение вдоль оси X имеет нагрузку $V_{36} = -0,813$, а перемещение вдоль оси Z — $V_{38} = 0,840$ — это параметры деформированного состояния в одной из точек прессового соединения. В прессовом соединении присутствует только вертикальная компонента σ_y , а компоненты σ_x и σ_z отнесены ко второму фактору.

Первый фактор будем интерпретировать как «напряженно-деформированное состояние колесной пары». Его вес составляет 32,4%. Этот фактор имеет высокие нагрузки на значительное количество переменных, поэтому считаем его генеральным.

Второй фактор интерпретируем как «несущую способность прессового соединения». Считаем его общим, поскольку более двух его нагрузок значительно отличаются от нуля [6]. Этот фактор наиболее связан с напряженным состоянием в соединении колеса и оси. Наибольшие нагрузки имеют максимальное контактное давление (макс. давл.) $V_8 = 0,913$, максимальное касательное усилие (вдоль оси — макс. осевое) $V_{11} = 0,939$, горизонтальная реакция рельса $V_2 = 0,719$, величина зон скольжения $V_{12} = 0,733$, нормальные напряжения

Таблица 1

Variable	Factor Loadings (Varimax raw) (planFac 38.sta)							
	Extraction: Principal components							
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8
Верт. нагр.	0,002	0,0116	0,0015	-0,0311	-0,0032	0,0398	0,0277	-0,9034
Гориз. нагр.	-0,076	0,7188	-0,0332	0,1161	0,0589	0,5203	0,0683	-0,0192
Крут. мом.	0,017	-0,1306	-0,0159	0,9592	-0,1036	0,0363	0,0218	0,0381
Торможение	0,267	0,0407	0,9338	0,0231	-0,0054	0,0430	-0,0936	-0,0323
Эксцентр.	0,084	-0,4860	-0,0343	-0,1071	-0,0347	0,6667	-0,1235	0,0199
Толщ. обода	-0,297	-0,1032	0,1533	0,0147	-0,0697	-0,0584	0,7317	-0,0730
Сумм. сила	-0,904	-0,0683	0,3769	0,0358	-0,0312	0,0906	-0,0636	-0,0032
Макс. давл.	0,313	0,9129	-0,1131	0,0777	0,1178	0,0554	0,0661	-0,0130
Мин. давл.	-0,658	-0,3550	0,4116	-0,2065	-0,0405	-0,0972	0,0892	0,0498
Макс. окруж.	0,518	0,1306	-0,4011	0,1900	-0,0224	0,1474	0,2823	-0,0297
Макс. осев.	0,090	0,9395	-0,0185	0,0874	-0,0242	-0,0316	-0,0548	-0,0114
ZSK	0,170	0,7328	-0,2781	0,0613	-0,0058	-0,2086	-0,1171	-0,2052
Норм. конт.	0,113	0,2773	-0,0557	0,9299	-0,0464	0,0396	0,0016	0,0186
Танг. конт.	-0,100	0,1084	-0,0497	0,3851	-0,0652	0,4002	0,1154	-0,2234
Экв. макс.	0,941	0,1830	0,1892	-0,0005	0,0205	0,0430	-0,1519	-0,0278
Экв. мин.	0,372	0,5470	0,2948	0,0782	0,2721	-0,0067	0,1395	-0,0019
SX_MAX	0,952	0,0943	0,0376	0,0432	0,0073	-0,0197	0,0130	-0,0032
SX_MIN	-0,375	-0,2536	0,7806	-0,0117	0,0019	-0,2536	0,2617	0,0401
SY_MAX	0,983	0,1271	0,0125	0,0169	0,0279	-0,0374	0,0046	-0,0122
SY_MIN	-0,458	-0,1214	0,5584	-0,0883	0,0471	-0,0994	0,0565	0,0885
SZ_MAX	0,978	0,1364	0,0541	0,0193	0,0343	-0,0328	0,0002	-0,0104
SZ_MIN	0,452	-0,1379	0,4743	-0,1012	0,0676	-0,5357	0,3363	0,1193
TXY_MAX	0,913	0,1111	0,2851	0,0258	0,0074	0,0029	-0,1328	-0,0179
TXY_MIN	-0,915	-0,1086	-0,2921	-0,0859	-0,0115	-0,0251	0,1022	0,0199
TXZ_MAX	0,844	0,1583	-0,2956	0,2020	0,1727	0,0384	0,0912	0,0333
TXZ_MIN	-0,448	-0,2968	0,1542	-0,0696	-0,0375	-0,0096	-0,0299	0,1281
TYZ_MAX	0,235	0,1206	-0,1496	0,2570	0,3265	-0,2715	0,0182	-0,4058
TYZ_MIN	-0,644	-0,1619	0,4258	-0,0727	0,0492	-0,3741	0,3030	0,0174
EQU_STR	0,566	0,5016	-0,2555	-0,1036	0,3476	0,3000	0,2650	0,0306
SX	-0,327	-0,8517	0,1341	0,0304	-0,2180	-0,1766	-0,0167	0,0062
SY	0,529	-0,0181	-0,2663	-0,2194	0,4395	0,4867	0,2851	0,0563
SZ	-0,012	-0,7195	-0,0944	0,1785	0,1701	0,4273	0,1922	-0,0244
TXY	0,201	-0,0087	-0,1972	-0,6452	-0,5606	0,1618	0,2166	0,0103
TXZ	-0,175	-0,2058	-0,0076	0,2540	-0,8894	-0,0350	0,0153	0,0145
TYZ	-0,082	-0,8721	-0,0634	-0,0223	-0,0316	0,1451	0,0902	-0,0651
X	-0,813	-0,0166	0,3054	-0,1504	-0,1092	-0,1770	-0,1280	0,0174
Y	-0,157	-0,0157	0,0134	-0,9369	0,1088	0,0322	-0,0233	0,0497
Z	0,840	0,0436	-0,4232	-0,1399	0,0731	-0,0856	-0,0314	0,0149

Таблица 2

Value	Eigenvalues			
	Extraction: Principal components			
	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	13,64307	35,90281	13,64307	35,90281
2	5,32593	14,01561	18,96900	49,91841
3	3,84423	10,11638	22,81322	60,03480
4	3,68302	9,69216	26,49624	69,72695
5	1,81081	4,76529	28,30705	74,49225
6	1,49747	3,94071	29,80452	78,43296
7	1,18615	3,12144	30,99067	81,55440
8	1,07072	2,81767	32,06139	84,37207

σ_x — $V_{30} = -0,852$, σ_z — $V_{32} = -0,719$, касательная составляющая τ_{yz} имеет нагрузку $V_{35} = -0,872$. Здесь появилась нагрузка на переменную эквивалентных напряжений в прессовом соединении: $\sigma_{\text{эKB}}$ — $V_{29} = 0,502$, что отсутствовало в компонентном анализе [10, 11] и в матрице факторного отображения до вращения.

В данном случае признаки 30, 32, 29, характеризующие напряженное состояние прессового соединения, влияют в ту же сторону, что и признаки 8 и 11, а также признаки 2, 12, 29, а вот признаки 5, 30, 32, 35 имеют противоположные знаки. Но для интерпретации факторов нас интересуют лишь величины факторных нагрузок.

Вес этого фактора составляет 16,2%, т. е. несущая способность колесной пары на 16,2% объясняется надежностью прессового соединения.

Вес третьего общего фактора — 9,6%. Данный фактор связан с температурным воздействием вследствие различных режимов торможения: $V_4 = 0,934$. Этот фактор имеет нагрузки на компоненты тензора напряжений в диске (ободе) колеса, хотя их значения ниже: $\sigma_{x \min}$ — $V_{18} = -0,781$, $\sigma_{y \min}$ — $V_{20} = 0,558$, $\sigma_{z \min}$ — $V_{22} = -0,474$, $\tau_{yz \min}$ — $V_{29} = -0,426$. Нагрузки более 0,4 отмечены и на минимальное значение контактного давления и максимальное значение окружного в прессовом соединении.

Воздействие температуры увеличивает напряженность в диске и ободе колеса, поэтому данный фактор и отмечен нагрузками на эти переменные. Характеризуем третью компоненту как «влияние факторов торможения» на несущую способность колесной пары.

Четвертый фактор связан с нагружающим фактором — крутящим моментом $V_3 = 0,959$, нормальным давлением $V_{13} = 0,929$, составляющей минимального касательного напряжения $\tau_{xz \min}$ — $V_{34} = -0,416$. Изменилась картина и для прессового соединения: выросло значение нагрузки на перемещение вдоль оси Y — $V_{37} = -0,923$. Учитывая появление нагрузок на касательные напряжения как в диске колеса, так и в прессовом соединении, характеризующих сдвиговые деформации, можно интерпретировать данный фактор как «расположение колесной пары при торможении». Имеется в виду прежде всего перекокс колесной пары, часто имеющий место при вхождении в кривую. Третий и четвертый факторы можно объединить и дать им общую интерпретацию как «состояние колесной пары при торможении».

Дальнейшая интерпретация идентична и приводит к следующим показателям несущей способности колесной пары:

- 1 — напряженное состояние колесной пары;
- 2 — несущая способность прессового соединения;
- 3 — состояние колесной пары при торможении;
- 4 — влияние горизонтальной нагрузки на колесную пару;

5 — износ колесной пары;

6 — вертикальная нагрузка на ось колесной пары.

Таким образом, выполнены основные задачи факторного анализа: сокращение информации и классификация переменных. На примере генерального фактора определен характер взаимосвязи между переменными. На основе регрессионных моделей факторов может быть выполнена оценка несущей способности колесной пары, для чего достаточно подставить соответствующие значения переменных в уравнения.

Полученные решения вполне могут использоваться при проектировании новых моделей колесных пар, прогнозировании показателей состояния колесной пары при ужесточении эксплуатационных параметров нагружения, а также как сравнительная база данных в режиме мониторинга колесной пары в эксплуатации.

В качестве исходных признаков могут выступать как внешние эксплуатационные нагрузки, температурные воздействия, так и геометрические и физико-механические параметры колесной пары; параметры сопряжения колеса и оси — натяг, коэффициент трения, состояние сопрягаемых поверхностей, скорость и усилие запрессовки, нормальное или аксиальное давление; внутренние силовые факторы колеса и оси — компоненты тензоров напряжений и деформаций, перемещения и др. Вполне очевидно, что с ростом осевой нагрузки увеличатся контактные напряжения, например, между колесом и рельсом. Однако этот постулат совершенно неочевиден вследствие длительного воздействия температуры в результате торможения. Полученная в результате численного эксперимента зависимость между осевой нагрузкой и контактными напряжениями не вскрывает причинно-следственных связей в отражаемом с ее помощью явлении. Можно извлечь информацию о природе явления из полученной зависимости, но это только благодаря знаниям положений механики деформируемого твердого тела. Однако имеющее описательный характер соотношение между двумя или большим количеством переменных не может непосредственным образом характеризовать собой причинно-следственной связи. Одна из причин состоит в том, что эти соотношения не являются точными: они упрощенно отражают реальную действительность и, следовательно, не являются абсолютно верными. Нужно стремиться к получению одного, имеющего достаточно общий характер уравнения, допускающего возможность отклонения (в определенных пределах) фактических данных от отражаемой с его помощью теоретической (экспериментальной) связи. Такое уравнение более ценно, чем многочисленные уравнения, полученные для каждого случая в отдельности и дающие более точное описание изолированных совокупностей наблюдений или измерений и расчетов.

Литература

1. Yessaulov V., Taran Y., Sladkovsky A., Kozlovsky A., Shmurygin N. *Design of Wagon Wheels Using the Finite Element Method // Computers in Railways V. Southampton, Boston : Computational Mechanics Publications, 1996. V. 2. P. 69—77.*
2. Sladkovsky A., Yessaulov V., Shmurygin N., Taran Y., Gubenko S. *An Analysis of Stress and Strain in Freight Car Wheels // Computational Method and Experimental Measurements VIII. Southampton, Boston : Computational Mechanics Publications, 1997. P. 15—24.*
3. Сакало В.И., Ольшевский А.А., Шевченко К.В. *RSFEM Program Package for Contact Units Investigation // Consideration of Railway Transport Problems : Proceedings of Conference «Railway Bogies and Running Gears». Budapest, 2001. P. 162—164.*
4. Кротов С.В., Кротов В.П. *Оценка несущей способности колесной пары при повышенных нагрузках // Вестник РГУПС. 2005. № 1. С. 35—38.*
5. Дубров А.М. *Обработка статистических данных методом главных компонент. М. : Статистика, 1978. 135 с.*
6. Иберла К. *Факторный анализ. М. : Статистика, 1980. 397 с.*
7. Афифи А., Эйзен С. *Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ / пер. с англ. М. : Мир, 1982. 488 с.*
8. *Температурные поля, деформации и напряжения в цельнокатаных колесах при различных режимах торможения / Киселев С.Н., Иноземцев В.Г., Петров С.Ю., Киселев А.С. // Вестник ВНИИЖТ. 1994. № 7. С. 13—17.*
9. Евдокимов Ю.А., Колесников В.И. *Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. М. : Наука, 1980. 228 с.*
10. Krotov V., Krotov S. *Application of the method of the principal components for the analysis of bearing ability of the wheel pair of the car // Transport Problems. Poland. Gliwice. 2009. V. 4. I. 4. P. 15—23.*
11. Кротов С.В., Кротов В.П. *Анализ расчета несущей способности колесной пары вагона с применением метода главных компонент // Наука и техника транспорта. 2010. № 1. С. 70—75.*

References

1. Yessaulov V., Taran Y., Sladkovsky A., Kozlovsky A., Shmurygin N. *Design of Wagon Wheels Using the Finite Element Method // Computers in Railways V. Southampton, Boston: Computational Mechanics Publications. 1996. V.2. P. 69 – 77.*
2. Sladkovsky A., Yessaulov V., Shmurygin N., Taran Y., Gubenko S. *An Analysis of Stress and Strain in Freight Car Wheels // Computational Method and Experimental Measurements VIII. Southampton, Boston: Computational Mechanics Publications. 1997. P.15 – 24.*
3. Sakalo V.I., Olshevsly A.A., Shevchenko K.V. *RSFEM Program Package for Contact Units Investigation //Consideration of Railway Transport Problems: Proceedings of Conference «Railway Bogies and Running Gears». Budapest. 2001. P. 162 – 164.*
4. Krotov S.V., Krotov V.P. *Otsenka nesuchchej sposobnosti kolesnoj pary pri povyshennykh nagruzkah [Estimation of bearing capacity of wheel set under extra load] // Vestnik RGUPS. 2005. № 1. S. 35 – 38.*
5. Dubrov A.M. *Obrabotka statisticheskikh dannykh metodom glavnnykh component [Statistical data handling by method of principal component]. M.: Statistika, 1978. 135s.*
6. Iberla K. *Faktorny analiz [Factor analysis]. M. : Statistika, 1980. 397 s.*
7. Afifi A., Eizen S. *Statisticheskij analiz: Podkhod s ispolzovaniem EVM [Statistical analysis: Method with the use of computer]: Per. s angl. M. : Mir, 1982. 488 s.*
8. Evdokimov Yu.A., Kolesnikov V.I. *Planirovanie i analiz eksperimentov pri reshenii zadach treniya i iznosa [Experimental design and analysis of friction and wear problems]. M: Nauka, 1980. 228s.*
9. *Temperaturnye polja, deformatsii i naprjazhenija v tselnokatanykh kolesakh pri razlichnykh rezhimakh tormozhenija [Thermal fields, deformation and voltage in solid-rolled wheel at different braking modes] / Kiselev S.N., Inozetsev V.G., Petrov S.Yu., Kiselev A.S. // Vestnik VNIIZhT. 1994. № 7. S. 13 – 17.*
10. Krotov V., Krotov S. *Application of the method of the principal components for the analysis of bearing ability of the wheel pair of the car // Transport Problems. Poland. Gliwice. 2009. v. 4. i. 4. P. 15 – 23.*
11. Krotov S.V., Krotov V.P. *Analiz rascheta nesushchej sposobnosti kolesnoj pary vagona s primeneniem metoda glavnnykh komponent [The analysis of bearing capacity calculation of rail-car's wheel set with the use of principal components method] // Nauka i tekhnika transporta. 2010. № 1. S 70 – 75.*