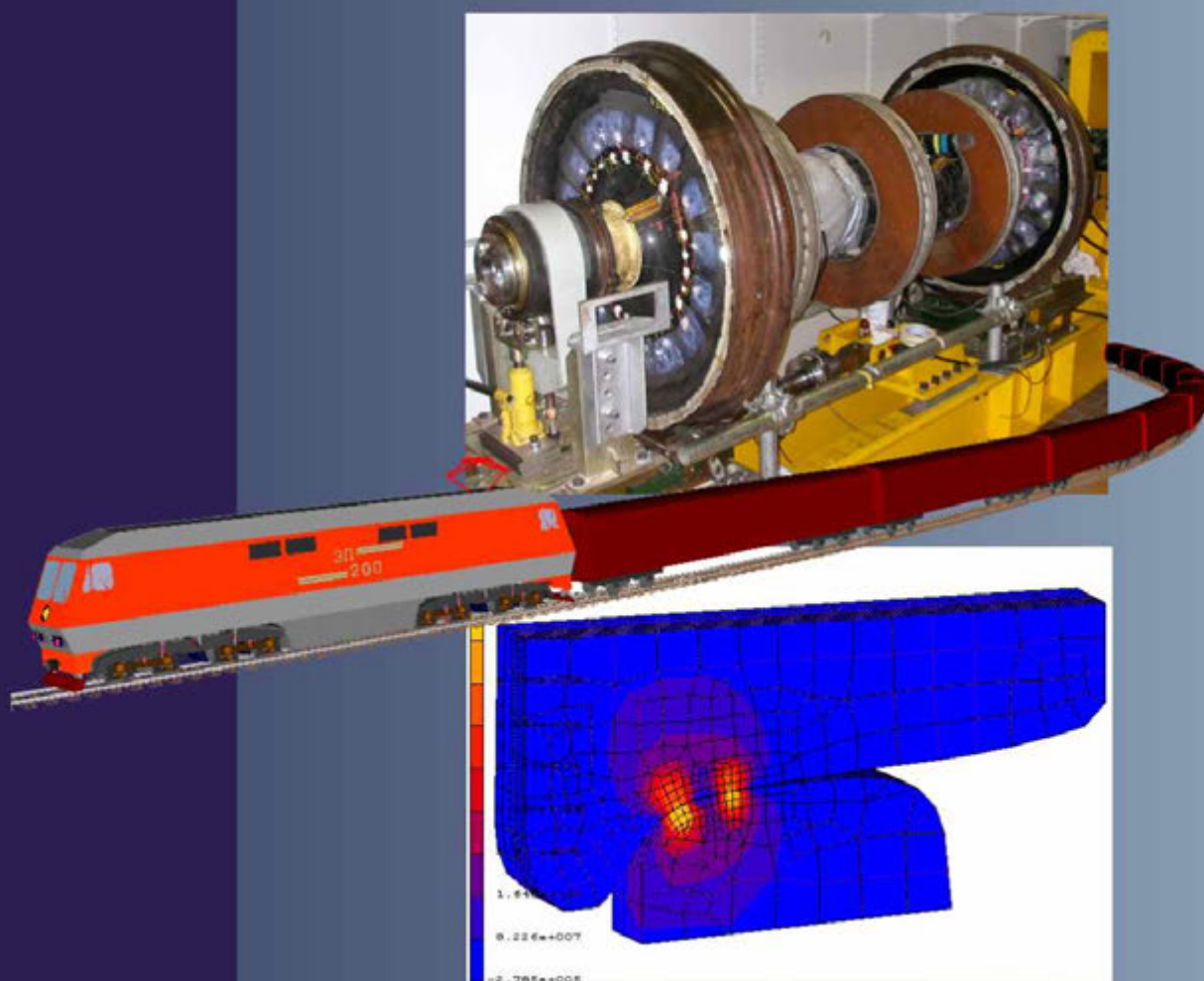


Aleksander SŁADKOWSKI



RAIL VEHICLE DYNAMICS AND ASSOCIATED PROBLEMS



MONOGRAPH



Gliwice 2005



Aleksander SŁADKOWSKI

Editor

**RAIL VEHICLE DYNAMICS
AND ASSOCIATED PROBLEMS**

Silesian University of Technology
Gliwice 2005

Reviewers

Prof. dr hab. inż. Wiesław GRZESIKIEWICZ

Prof. dr hab. inż. Jan ONDROUCH

Editorial Council

Editor-in-chief - Prof. dr hab. inż. Andrzej BUCHACZ

Department Editor - Dr inż. Aleksander UBYSZ

Editor Secretary - Mgr. Elżbieta LEŚKO

Technical Editor

Alicia NOWACKA

ISBN 83-7335-239-2

The monograph has been financed by Polish research project 5 T12C 052 23.

@ Copyright by
Wydawnictwo Politechniki Śląskiej
Gliwice 2005

CONTENTS

	Page
<i>Introduction</i>	4
Chapter 1	
Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software	
<i>D.Yu. Pogorelov</i>	11
Chapter 2	
Fundamentals of Wheel-Rail Interaction	
<i>S. Iwnicki</i>	57
Chapter 3	
Design of Railway Wheel Profile Using MARS Optimization Method	
<i>I.Y. Shevtsov, V.L. Markine, C. Esvelde</i>	71
Chapter 4	
Introduction to the Experimental Evaluation of the Dynamics of Railway Vehicles	
<i>R.V. Licciardello</i>	85
Chapter 5	
A Wheel Set for Study of Railway Vehicle and Track Interaction Forces	
<i>J. Romen</i>	108
Chapter 6	
Radial Arm: a Retrofit Kit to Improve the Dynamics of Freight Car Bogies	
<i>H. Scheffel, H. Kovtun, O. Markova, W.Kik, D.Moelle</i>	117
Chapter 7	
The Influence of the Contact Stress on the Structural Changes of Railway Wheel Steel	
<i>S.I. Gubenko, A. Śladkowski</i>	129
Chapter 8	
The Numerical Testing of Brake Shoes Made from Cast Iron and Composites	
<i>A. John, G. Kokot</i>	155
Chapter 9	
Computer Simulations of a Variable Traction Torque in Various Conditions and Travel Phases of a Train	
<i>A. Meżyk, S. Kciuk, S. Duda</i>	167

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<i>Введение</i>	4
 Часть 1	
Моделирование динамики рельсового экипажа при помощи программы Универсальный Механизм	
<i>Д.Ю. Погорелов</i>	11
 Часть 2	
Основы взаимодействия в паре колесо-рельс	
<i>С. Ивницкий</i>	57
 Часть 3	
Проектирование профиля железнодорожного колеса с использованием метода оптимизации MARS	
<i>И. Шевцов, В. Маркин, С. Эсвельд</i>	71
 Часть 4	
Введение в экспериментальную оценку динамики железнодорожных транспортных средств	
<i>Р.В. Личарделло</i>	85
 Часть 5	
Колесная пара для изучения сил взаимодействия между рельсовым экипажем и путем	
<i>Ю. Ромен</i>	108
 Часть 6	
Радиальный рычаг: модифицированный комплект, предназначенный для улучшения динамики тележек грузового вагона	
<i>Г. Шеффель, Е. Ковтун, О. Маркова, В. Кик, Д. Моэлле</i>	117
 Часть 7	
Влияние контактных напряжений на структурные изменения стали железнодорожных колес	
<i>С.И. Губенко, А. Сладковский</i>	129
 Часть 8	
Численное тестирование тормозных колодок, выполненных из чугуна и композитов	
<i>А. Ион, Г. Кокот</i>	155
 Часть 9	
Компьютерное моделирование переменного тягового момента в различных условиях и фазах движения поезда	
<i>А. Менжик, С. Кчюк, С. Дуда</i>	167

SPIS TREŚCI

	Str.
<i>Przedmowa</i>	4
Część 1	
Symulacja dynamiki pojazdu szynowego przy pomocy programu Uniwersalny Mechanizm	
<i>D.Yu. Pogorelov</i>	11
Część 2	
Podstawy współdziałania w parze koło-szyna	
<i>S. Iwnicki</i>	57
Część 3	
Projektowanie profilu koła kolejowego z wykorzystaniem metody optymalizacji MARS	
<i>I.Y. Shevtsov, V.L. Markine, C. Esveld</i>	71
Część 4	
Wprowadzenie do eksperymentalnej oceny dynamiki kolejowych środków transportu	
<i>R.V. Licciardello</i>	85
Część 5	
Zestaw kołowy do badania sił oddziaływania pomiędzy pojazdem szynowym a torem	
<i>J. Romen</i>	110
Część 6	
Dźwignia promieniowa: zmodyfikowany komplet przeznaczony do polepszenia dynamiki wózków wagonu towarowego	
<i>H. Scheffel, H. Kovtun, O. Markova, W.Kik, D.Moelle</i>	117
Część 7	
Wpływ naprężeń kontaktowych na strukturalne zmiany stali kół kolejowych	
<i>S.I. Gubenko, A. Śladkowski</i>	129
Część 8	
Numeryczne testowanie klocków hamulcowych wykonanych z żeliwa i kompozytów	
<i>A. John, G. Kokot</i>	155
Część 9	
Komputerowe modelowanie zmiennego momentu trakcyjnego dla różnych warunków i faz ruchu pociągu	
<i>A. Mężyk, S. Kciuk, S. Duda</i>	167

INTRODUCTION

The dynamics behaviour of the railway vehicles is one of the factors which determine the development of the railway system. In conditions of strong competition with other kinds of ground transport rail transport must provide high-speed and comfortable transportation of passengers and fast transportation of freight. Modern rail transport should therefore be efficient and economical and also environmentally friendly. The design of new vehicles to meet these increased requirements means that sophisticated dynamic analysis is demanded.

It is obvious, that major new developments require dynamic analysis. There are now many computer programs which make modelling of the various vehicles possible. Among these is UM (Universal Mechanism), developed under direction of D. Pogorelov. The mathematical basis and functions of this package are discussed in the first chapter of the book.

For the simulation of the movement of rolling stock, modelling of the contact between the wheelsets and the track must be carried out. The mathematical fundamentals of this modelling are considered in the second chapter by S. Iwnicki. Thus the movement of vehicles with various wheel profiles both new and worn can be analyzed.

The third chapter written by I.Y. Shevtsov, V.L. Markine and C. Esvelde is devoted to the development of new profiles of the tread surface of the wheels. An optimisation method for the creation of new profiles is proposed on the basis of the modelling of the dynamics of the contact with the aim of decrease its wear during operation.

For the development of new vehicles it is also important to verify the results of the modelling. This is possible only on the basis of the experimental researches and R.V. Licciardello describes in the fourth chapter the requirements demanded by such researches and the relevant standards that apply. A specific subject of scientific interest to the author are the experimental tests with the deformed state of the wheelsets.

Relatives on subjects research have been carried out by J. Romen that is described in the fifth chapter. Here special attention has been given to the experimental testing of the values of the dynamic forces acting on the wheel in a vertical and lateral direction, and in particular, the directing forces.

The modelling of the dynamics of vehicle movement has allowed the group of authors H. Scheffel, H. Kovtun, O. Markova, W.Kik and D.Moelle to lead the modernization of rolling stock bogies. The designs developed have improved characteristics of curve negotiation, that in turn allow reduction of the intensity of the wear. The results produced are described in the sixth chapter.

The wheel profile influences not only the dynamic characteristics of rolling stock or reduction of the wear rate, but also the change of the contact stress. New profiles allow improvement in the specified characteristics, that are also influenced by the structural changes of the wheel steel. S. Gubenko and A. Sładkowski describe the results of the research in the seventh chapter of the book.

In the eighth chapter of the book A. John and G. Kokot present the results of modelling of the stress state of the wagon wheels with block braking. The interaction of wheels with the cast-iron or composite brake shoes is considered by the means of the finite element method. The temperature fields at various stages of the braking are also presented.

In ninth, last chapter of the book the problems of the dynamics of a locomotive drive are considered by A. Męzyk, S. Kciuk, S. Duda. The characteristics of the traction moment with

time at various stages of the movement of the locomotive are studied using as an example the Polish electric locomotive EU07. Thus the variable moment of resistance, elastic properties of a drive and other factors have been considered.

The book thus presents the reader the dynamic phenomena involved in rolling stock movement and their consequences. The complex approach to studying of such phenomena is the most effective for the development of new designs of wagons and locomotives. These solutions have been developed by more than one country and it is not surprising therefore, that the authors of this book are drawn from more than one country. The authors work in Russia, the United Kingdom, the Netherlands, Italy, South Africa, the Ukraine, Germany and Poland.

The researches presented will be useful for engineers and scientific employees working in the field of a railway transport. The book can also be used in the training of specialists, students and post-graduate students in Universities and transport high schools.

ВВЕДЕНИЕ

Динамика рельсового транспорта на современном этапе является одним из факторов, которые определяют тенденции развития железных дорог. В условиях жесткой конкуренции с другими видами наземного транспорта рельсовый транспорт должен обеспечивать высокоскоростное движение, комфортность перевозки пассажиров, быструю перевозку грузов. При этом транспорт должен обеспечивать условия рентабельности, экономичности и высокие экологические требования. Поэтому при проектировании новых транспортных средств предъявляются повышенные требования к их динамическому анализу.

Очевидно, что для создания каких-либо новых разработок необходимо провести их динамический анализ. В настоящее время разработано много вычислительных программ, которые позволяют реализовать моделирование различных транспортных средств. Среди них одним из наиболее перспективных развивающихся пакетов является УМ (Универсальный Механизм), разработанный под руководством Д. Погорелова. Математические основы функционирования указанного пакета обсуждаются в первой части предлагаемой вниманию читателя книги.

Для создания математической модели движения подвижного состава должны быть проведено моделирование контактного взаимодействия колесных пар и рельсовой колеи. Математические основы такого моделирования рассматриваются во второй части С. Ивницким. При этом анализируется движение экипажей, имеющих различные профили рабочих поверхностей колес, как новых, так и изношенных.

Разработке новых профилей поверхности катания колес посвящена третья часть, написанная И. Шевцовым, В. Маркиным и С. Эсвельдом. Здесь для создания новых профилей предлагается на основе моделирования динамики контактного взаимодействия оптимизировать форму поверхности катания с целью снижения ее износа в условиях эксплуатации.

При разработке новых транспортных средств важно также верифицировать результаты моделирования. Выполнить это возможно только на основе экспериментальных исследований. В четвертой части Р. Личарделло описывает требования, предъявляемые к таким исследованиям со стороны нормативных

документов. Особым предметом научных интересов автора являются экспериментальные исследования деформированного состояния колесных пар.

Близкие по тематике исследования были проведены Ю. Роменом, что описано в пятой части. Здесь особое внимание было уделено экспериментальному изучению величины динамических сил, действующих на колесо в вертикальном и поперечном направлении, и в особенности, направляющих усилий.

Моделирование динамики движения экипажей позволило авторскому коллективу Г. Шеффель, Е. Ковтун, О. Маркова, В. Кик и Д. Моэлле провести модернизацию тележек подвижного состава. Разработанные конструкции имеют улучшенные характеристики вписывания в кривых участках пути, что в свою очередь позволяет уменьшить интенсивность износа. Полученные результаты описаны в шестой части.

Изменение профилей поверхности катания колес приводит не только к изменению динамических характеристик подвижного состава или к снижению износа, но и к изменению контактных напряжений. Новые профили позволяют существенно улучшить указанные характеристики, что также влияет на структурные изменения колесной стали. С. Губенко и А. Сладковский описывают результаты проведенных исследований в седьмой части книги.

В восьмой части книги А. Ион и Г. Кокот приводят результаты моделирования напряженного состояния вагонных колес при их колодочном торможении. При помощи метода конечных элементов рассмотрено взаимодействие колес с чугунными или композитными колодками. Определены поля температур на различных этапах торможения.

В последней, девятой части книги А. Менжик, С. Кчюк, С. Дуда рассмотрели проблемы динамики привода локомотивов. На примере польского электровоза EU07 изучены зависимости тягового момента от времени на различных этапах движения локомотива. При этом были учтены переменный момент сопротивления, упругие свойства привода и другие факторы.

Таким образом, представленная вниманию читателей книга рассматривает динамические явления, имеющие место при движении подвижного состава, и их последствия. Комплексный подход к изучению таких явлений является наиболее перспективным для создания новых конструкций вагонов и локомотивов. Очевидно, что решение таких задач очень сложно осуществить творческим коллективам одной страны. Не удивительно поэтому, что география научных исследований в рассматриваемой области достаточно широка. Это может подтвердить и данная книга, авторы которой работают в России, Великобритании, Нидерландах, Италии, ЮАР, Украине, Германии и Польше.

Приведенные исследования могут оказаться полезными для научных сотрудников и инженеров, работающих в области железнодорожного транспорта. Книга также может быть использована в процессе подготовки специалистов, студентов и аспирантов транспортных ВУЗов.

PRZEDMOWA

Zagadnienia dynamiki w transporcie szynowym na obecnym etapie są jednymi z czynników, które określają tendencje rozwoju kolei. W ramach konkurencji z innymi rodzajami naziemnego transportu - transport szynowy powinien umożliwiać ruch z dużymi prędkościami, komfort przewozu pasażerów oraz szybki przewóz towarów. Przy tym

transport kolejowy powinien zabezpieczać warunki rentowności, ekonomii i wysokie wymagania ekologiczne.

Przy tworzeniu nowych opracowań bardzo ważnym zagadnieniem jest przeprowadzenie analizy dynamicznej tych konstrukcji. Obecnie opracowanych jest wiele programów obliczeniowych, które pozwalają realizować modelowanie różnych środków transportu. Wśród nich jednym z najbardziej perspektywicznych i rozwijających się programów jest UM (Uniwersalny Mechanizm), opracowany pod kierunkiem D. Pogorelova. Matematyczne podstawy funkcjonowania tego programu omówione zostały w pierwszym rozdziale prezentowanej książki.

Dla stworzenia matematycznego modelu ruchu taboru kolejowego powinno być przeprowadzone modelowanie współdziałania kontaktowego zestawów kołowych i toru kolejowego. Matematyczne początki takiego modelowania rozpatrywane są w drugim rozdziale książki przez S. Iwnickiego, przy czym dokonana została analiza ruchu pojazdów mających różne profile powierzchni tocznych kół, tak nowych, jak i zużytych.

Opracowaniu nowych profili powierzchni tocznych kół poświęcony jest trzeci rozdział, napisany przez I. Shevtsova, V. Markina i C. Esvela. W tym rozdziale, dla stworzenia nowych profili proponuje się, na podstawie modelowania dynamiki współdziałania kontaktowego, optymalizację formy powierzchni tocznej w celu obniżenia jej zużycia w warunkach eksploatacji.

Przy opracowywaniu nowych środków transportu trzeba także weryfikować rezultaty modelowania, co jest to możliwe tylko przy pomocy badań eksperymentalnych. W czwartym rozdziale książki R. Licciardello, którego przedmiotem naukowych zainteresowań są eksperymentalne badania deformowanego stanu zestawów kołowych, opisuje wymogi takich badań ze strony dokumentów normatywnych.

Bliskie tej tematyce były również badania przeprowadzone przez J. Romena, które zaprezentowane zostały w piątym rozdziale. Tu specjalną uwagę poświęcono eksperymentalnemu badaniu wielkości sił dynamicznych, a w szczególności sił kierujących, działających na koło w pionowym i poprzecznym kierunku.

Modelowanie dynamiki ruchu pojazdów pozwoliło autorskiemu zespołowi H. Scheffel, H. Kovtun, O. Markova, W. Kik i D. Moelle przeprowadzić modernizację wózków taboru kolejowego. Opracowane konstrukcje mają ulepszone charakterystyki wpisywania się w krzywe odcinki toru, co pozwala zmniejszyć intensywność zużycia. Otrzymane rezultaty są opisane w szóstym rozdziale książki.

Zmiana profili powierzchni tocznej kół doprowadza nie tylko do zmiany charakterystyk dynamicznych taboru kolejowego lub do obniżenia zużycia, lecz również do zmiany naprężeń kontaktowych. Nowe profile pozwalają znacząco poprawić wskazane charakterystyki, co także wpływa na zmiany strukturalne stali wykorzystanej do konstrukcji kół kolejowych. Rezultaty przeprowadzonych badań opisują w siódmym rozdziale S. Gubenko i A. Ślaskowski.

W ósmym rozdziale książki A. John i G. Kokot przedstawiają rezultaty modelowania stanu naprężeń kół wagonowych przy ich hamowaniu klockowym. Przy pomocy metody elementów skończonych rozpatrzono współdziałanie kół z żelaznymi lub kompozytowymi klockami oraz określono pole temperatur na różnych etapach hamowania.

W ostatnim, dziewiątym rozdziale książki A. Męzyk, S. Kciuk i S. Duda rozpatrzyli problemy dynamiki napędu lokomotyw. Na przykładzie polskiego elektrowozu EU07 badano zależności momentu trakcyjnego od czasu, w różnych momentach ruchu lokomotywy. Uwzględniono przy tym zmienny moment oporu, właściwości sprężystości napędu oraz inne czynniki.

W ten sposób, przedstawiana pod uwagę czytelników książka rozpatruje zjawiska dynamiczne, odbywające się przy ruchu taboru kolejowego oraz ich skutki. Kompleksowe

podejście do badania takich zjawisk jest najbardziej perspektywicznym podejściem dla tworzenia nowych konstrukcji wagonów i lokomotyw. Oczywistym jest, że rozwiązanie takich zadań jest bardzo trudno zrealizować twórczym zespołom jednego kraju. Niczym dziwnym jest w takim razie fakt, że geografia badań naukowych w omawianym zakresie jest dosyć szeroka. Potwierdzeniem tego jest prezentowana książka, której autorzy pracują w Rosji, Wielkiej Brytanii, Holandii, Włoszech, RPA, Ukrainie, Niemczech i Polsce.

Przedstawione badania mogą okazać się pożytecznymi dla pracowników naukowych i inżynierów pracujących w zakresie transportu kolejowego. Książka może być również wykorzystana w procesie nauczania specjalistów, studentów i doktorantów specjalności transportowych na wyższych uczelniach.