

В. БОГДАНОВ

ВАЖЛИВА СКЛАДОВА НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Нове у системі моніторингу рейок і коліс

Відтоді, як було винайдено колесо і змайстровано перший візок, людина століттями ламала голову над удосконаленням засобів пересування. І весь цей час у розв'язанні транспортної проблеми домінуючими залишалися два параметри — досягнення максимально можливих швидкості і надійності. Швидкість транспортних засобів чималою мірою визначає їхню ефективність. А надійність залежить від цілого спектра факторів: це і запас міцності матеріалів, з яких виготовлено транспортний засіб, і ресурс безвідмовної роботи його механізмів, і ступінь безпеки експлуатації за різних умов, і якість шляхів, якими він рухається. Серед заходів, що забезпечують надійність залізничного транспорту, велика роль належить моніторингу стану рейок і коліс.

Понад двісті років залізниці служать людині. Від моменту появи перших поїздів і до наших днів на залізничному транспорті сталися революційні перетворення. Кардинально змінився як його рухомий склад, так і інфраструктура. Високошвидкісні поїзди вже реальність нашого сьогодення. А більші швидкості диктують і більші вимоги до рейок та коліс, до рівня їх надійності.

До речі, серед країн Європи Україна має найвищий коефіцієнт транзиту — 5,3, і це ще один аргумент на користь висновку, що вдосконалення системи моніторингу на залізничному транспорті є для нас гострою науково-технологічною проблемою. Зокрема, надзвичайно важливо підтримувати профілі рейок і коліс у формі, максимально наближеній до оптимальної. Специфіка коліс високошвидкісних поїздів полягає у тому, що вони мають вигнутий усередину профіль у центральній його частині. Це зменшує тертя рейок і коліс. Колісна пара наче погойдується на рейках у місцях їх неминучого незначного викривлення. Для швидкого і безпечного руху поїзда необхідно, щоб профіль рейок і коліс якомога менше відрізнявся від теоретично обчислених профілів, особливо в області контакту рейки і фланця колеса. Сьогодні створені та працюють спеціальні поїзди, що шліфують головки рейок, надаючи їм потрібних параметрів. Такі поїзди, які мають по триста і більше сточуючих наждаків, що обертаються, випускаються багатьма зарубіжними фірмами.

Отже, як бачимо, моніторинг стану рейок і коліс та розрахунок параметрів їхніх профілів — надзвичайно актуальне завдання. Але й дуже непросте. Адже при сточуванні рейок необхідно контролювати цей процес з точністю до 0,1 мм. Бо ж кожна десята частина міліметра — це часто додаткові півроку чи рік експлуатації рейок.

Основні складності моніторингу стану залізниць полягають у надійному виявленні тріщин, точному встановленні центральної лінії рейки, достовірному визначенні деформаційного повороту головки рейки та її поперечного профілю і параметрів його зносу.

З метою контролю за станом рейок сьогодні широко використовуються ультразвукові, лазерні [1—6] та електромагнітні [7, 8, 10] сенсорні пристрої. Протягом останніх років у деяких країнах з'явилися нові різноманітні прилади для моніторингу залізничного транспорту. Так, російський пристрій [1] для ультразвукової дефектоскопії здатний надійно виявляти тріщини у центральній і бічній частинах головки рейки. Ультразвуковий прилад [2], створений також російськими вченими та інженерами, дає змогу контролювати прямолінійність, скрученість і розривність рейок. Американський ультразвуковий детектор [3] визначає положення центральної лінії рейки.

Розширюється застосування лазерів для безконтактної інспекції рейок. Так, у США розроблено лазерний пристрій [4] для інтерферометрового визначення структури поверхні. Справа в тому, що третя область рейки має блискучу дзеркальну поверхню, тоді як неконтактні поверхні вкриті іржею і промисловим брудом. Отже, відбиті від них хвилі мають різну інтенсивність і напрямок. А це утруднює знаходження конструкторських рішень, які б забезпечували достатню точність вимірювань. Російський [5] та американський [6] прилади безконтактного моніторингу відстежують тільки верхню поверхню головки рейки, при цьому неможливо обчислити чимало важливих параметрів поперечного профілю, необхідних для того, щоб точно керувати процесом шліфування рейок. Для контролю за напруженнями, що виникають у рейках, в Японії використовують пристрій [7], який працює за допомогою електромагнітних сенсорів. Російський пристрій [8] для безконтактного контролю робочої головки рейки, що діє на основі матричного вихорового перетворювача, дає змогу аналізувати тільки робочу поверхню внутрішнього боку головки рейки.

На міжнародній конференції «Railway Engineering-2002», яка відбулася у Лондоні і в якій автор цього огляду брав участь, було запропоновано нові підходи до розв'язання проблем моніторингу стану рейок і коліс. На конференції працювали чотири секції за такими темами: сигнальна система, електрифікація, освітлення; інспекція та моніторинг стану рейок і коліс; тунелі, мости, будівництво; насипи, баластні призми, їхній ремонт, земляні роботи.

Корисно хоча б побіжно охарактеризувати технологічні новинки в даній галузі, створені за рубежом. Це може стати імпульсом для розробки вітчизняних вимірювальних пристроїв, призначених для моніторингу стану залізничного полотна.

Цікавий прилад «G-Scan» випускає фірма Guided Ultrasonic (Rail) Ltd. [10] з Ноттингема (Велика Британія). Він призначений контролювати якість зварних з'єднань і виявляти внутрішні та поверхневі тріщини у рейках за допомогою ультразвуку. Прилад працює як у режимі випромінювання хвилі, що поширюється уздовж рейки, так і в площині її поперечного перетину. Він дає змогу проаналізувати за один раз 100 метрів рейок, виконуючи один вимір протягом хвилини.

У США і країнах Європи у системах моніторингу залізничного транспорту широко практикують комбіновані методи контролю із застосуванням цифрових камер. Тут поперечний профіль отримують шляхом аналізу послідовності проєкцій зображення рейок, які одержують за допомогою цифрових телекамер, встановлених під різним кутом. З цих проєкцій чисельно розпізнаються великі тріщини на поверхні і відтворюється поперечний профіль рейок. Чисельне розпізнавання та відтворення образів — досить складне завдання. Навіть із застосуванням математичного ймовірно-статистичного апарату вдається досягати точності, яка не перевищує 0,5 мм. Для сточування рейок і розрахунку параметра профілю цього недостатньо. Бажана точність — 0,1 мм. Однак її не забезпечує поки що більшість приладів, зокрема і безконтактні лазерні вимірювачі.

Наприклад, англійська компанія Tilbah, що спеціалізується на випуску виміральної апаратури, виготовляє лазерний прилад, який працює з точністю 3-4 мм.

Тому, незважаючи на різноманіття конструкторських рішень і методів визначення поперечного профілю рейок і коліс на основі ультразвукових, лазерних та електромагнітних пристроїв, продовжує успішно застосовуватися і контактний виміральної прилад MiniProf [11] датської фірми Greenwood, здатний забезпечувати точність до 0,1 мм. Аналогом цього приладу є російський профілограф [12], який теж працює контактним способом. Однак, на відміну від MiniProf, профілограф не видає кут нахилу дотичної у кожній вимірюваній точці і не охоплює під час виміру один з нижніх кутів профілю рейки. Крім того, він видає меншу кількість точок профілю (близько 500), аніж MiniProf. Якщо ж доопрацювати профілограф та усунути вказані недоліки, то він ні в чому не поступатиметься своєму датському аналогові.

Також необхідно поліпшити і програмне забезпечення вимірального приладу. У комплекті до профілографа пропонується програмне забезпечення для аналізу профілів. Проте у ньому точно не визначається кут нахилу головки рейки, програми містять менше режимів розрахунків, ніж це необхідно, немає точного суміщення обчислених профілів з теоретичними. До того ж програмне забезпечення не передбачає можливості моделювання і керування процесом сточування з урахуванням теоретичних сточуючих профілів. Немає тут і програм для аналізу профілю коліс.

Враховуючи необхідність створення більш досконалого програмного забезпечення, яке можна було б застосовувати для контролю зносу всіх типів рейок і коліс та аналізу їхніх профілів, автор цього огляду розробив і реалізував на базі фірми P.R.S.Ltd. програмний пакет «Рейки-колеса». Його попередня версія користувалася успіхом на міжнародній виставці-продажу в Сінгапурі у березні 1999 р. Нова версія цього програмного пакета дістала схвальну оцінку торік на вже згадуваній конференції у Лондоні [9]. Пакет містить п'ять програмних інструментів: R-Graph, W-Graph, R-Comp, W-Comp, R-Grind. Програми працюють з MiniProf або з іншими контактними чи безконтактними виміральної приладами, які характеризуються такою ж точністю й акуратністю вимірювань.

У програмах пакета «Рейки-колеса» застосовані точні методи аналітичної геометрії, теорії оптимізації функцій багатьох змінних і чисельні методи.

Програмний інструмент R-Graph призначений для візуалізації обраного профілю рейки, маніпулювання з його графіком та його експорту в AutoCAD (автоматизована креслярська дошка) на принтер або у текстовий редактор. У програмному інструменті R-Comp реалізовано три типи обчислень: для одного профілю рейок, двох профілів та усереднений. Профілі суміщуються й аналізуються з новим і трьома сточуючими теоретичними профілями — для верхньої, нижньої і прямої рейок. Інструмент R-Comp дає змогу аналізувати профілі рейок, оцінювати швидкість їх зносу і ступінь ризику. Він має функціональність інструменту R-Graph. Обчислені параметри зберігаються у відповідному рапорт-файлі.

Програмні інструменти W-Graph і W-Comp — аналоги інструментів R-Graph і R-Comp, але призначені для аналізу профілів коліс. На рис. 1 відтворено екран монітора з діалоговим вікном вибору суміщень теоретичного та реального профілів коліс.

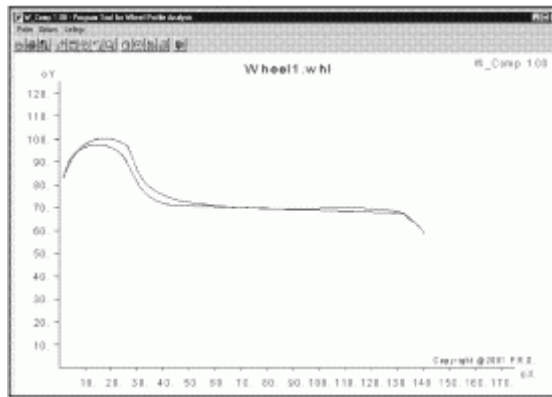


Рис. 1. Вигляд робочого вікна програми W-Comp

Профілі рейок і коліс легко сумістити в AutoCAD. Так вдається визначити зону контакту рейок і коліс й достовірно обчислити контактні напруження. В разі необхідності можна реалізувати автоматичне суміщення обраних профілів рейок та коліс і визначити розміри ділянки їх контакту.

Найбільш потужним програмним інструментом у пакеті «Рейки-колеса» є R-Grind. Він призначений для аналізу обраних двох реальних і теоретичних профілів рейок та для управління процесом сточування рейок. Обчислюються відстані між реальними профілями рейок і теоретичними сточуючими профілями, суміщеними в точці, яка лежить в області середньої точки профілю головки рейки, у п'ятнадцяти точках з кроком 5 і 10 градусів. Задаються мінімальне і максимальне значення сточування головки рейки за один прохід. Звичайно це 0,25 мм і 0,1 мм відповідно. Програма зберігає результати обчислень і сточування у спеціальному рапорт-файлі. На рис. 2 показано діалогове вікно завдання шліфування рейки. Видно поточні значення відстаней між теоретичним сточуючим і реальним профілями рейок.

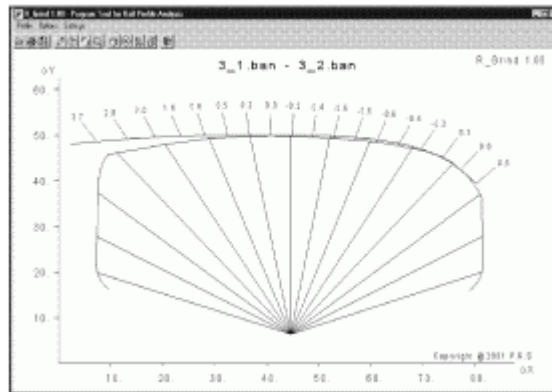


Рис. 2. Вигляд робочого вікна програми R-Grind

За допомогою програмного пакета «Рейки-колеса» можна легко організувати добір необхідних профілів, які зберігаються у базі даних, виходячи із заданих значень параметрів щодо зносу. Це може забезпечити більшу точність і оперативність практичних дій у разі заміни рейок на тій чи іншій ділянці залізничного полотна.



Рис. 3. Загальний вигляд нейрон-пристрою

Крім програмного пакета «Рейки-колеса», фірма P.R.S.Ltd. має патент [13] і володіє технологією виробництва напівавтоматичного сенсорного приладу для вимірювання профілю рейок та коліс. Він забезпечує необхідну точність (0,1 мм) і дає змогу швидко та надійно вимірювати весь профіль головки рейки незалежно від віддаленості комп'ютера. У виробництві приладу використовується технологія Lon Workso. Це одна з технологій інтелектуальних розподілених мереж (IPM), які є новим словом у керуючих і контрольних системах [14], оскільки оптимізують та автоматизують велику кількість різних процесів. Гнучка технологія Lon Workso дає змогу оперувати з будь-якими сенсорними датчиками і пристроями (а їх понад 3 тисячі) і може використовуватися для будь-яких систем моніторингу. Lon Workso — приклад існуючих і реально працюючих IPM, готових до реалізації у будь-якій комплектації. Мережа включає в себе так званий нейрон-вузол — керуючий багатоканальний пристрій для збирання, опрацювання, аналізу інформації та налагодження комунікації (рис. 3). Він тут використовується для опитування сенсорних датчиків, переведення аналогових сигналів у цифрові і для комунікації з комп'ютером, в якому складаються результати вимірювань. Прилад може прикріплюватися до локомотива, вимірювальних машин або візка. Вимірювання здійснюються шляхом простого опускання важеля протягом кількох секунд, коли рух припиняється. Вимірююча частина (її функціональне рішення показано на рис. 4), на якій кріпляться сенсори, охоплює рейку або колесо. Результати вимірювань надходять до локальної інтелектуальної мережі і складаються у комп'ютері на жорсткому диску. Вузли інтелектуальної мережі працюють у двох режимах: повідомлення можуть передаватися або за допомогою електропроводу, або по радіо. У випадку другого режиму не потрібні комп'ютер чи ноутбук безпосередньо під час вимірювання. Новий прилад буде сумісний з програмним пакетом «Рейки-колеса».

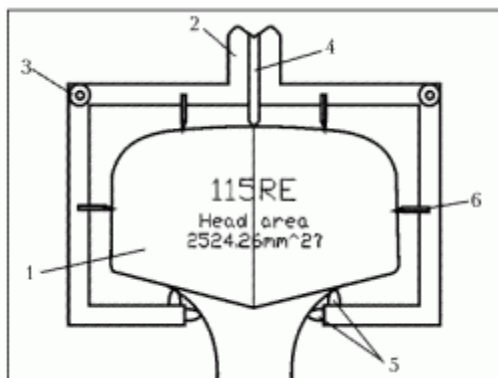


Рис. 4. Вимірювальна частина приладу

Програмний пакет і розглянутий прилад можуть внести серйозні якісні зміни у практику моніторингу стану рейок і коліс на українських залізницях. А це безпосередньо пов'язано і з проблемою подовження ресурсу та безпечної експлуатації транспортних засобів, що для

України як держави з розвинутою системою залізниць і великим коефіцієнтом транзиту надзвичайно актуально.

1. *Ультразвуковой* способ контроля головки рельсов / Марков А.А., Бершадская Т.Н., Белоусов Н.А., Мосягин В.В., Маркова А.А.; патент № RU2184371C1, заявл. 28.08.2001.
2. *Устройство* для ультразвукового контроля рельсов / Белоусов Н.А., Бершадская Т.Н., Бовдей В.А., Кротов Н.А., Марков А.А., Чернышов Е.Э.; патент № RU2184372C1, заявл. 27.06.2002.
3. *Ultrasonic Rail Web Centerline Detector* / John J. Shoenhair, Alex Ivachev; patent № US005339602A, Publication Date 23.08.1994, USA.
4. *Device for Interferometric Detection of Surface Structures* / Thomas Pfendler, Pawel Drabarek; patent № US005293215A, Publication Date 08.03.1994, USA.
5. *Способ* определения параметров поверхности катания головки рельса / Свирский Ю.А., Дубинский В.С., Семенов В.Т., Ушаков А.Е.; патент № RU2162120C1, заявл. 20.01.2001.
6. *Process for Measuring and Grinding the Profile of a Rail Head* / Fritz Buhler; patent № US004785589, Publication Date 22.11.1988, USA.
7. *Stress Measurement Device of Rail* / Wado Hajime, Sugiyama Yoshitaka, Iwata Hidetoshi, Kamihira Kunio; patent № JP11271153, Publication Date 02.10.1999, Japan.
8. *Мобильный* комплекс для контроля параметров верхнего строения пути / Запускалов В.Г., Маслов А.И., Егоров И.В., Артемьев Б.В., Ролик В.А., Волчков Ю.Е.; патент № RU2180695C1, заявл. 20.03.2002.
9. *Railway Engineering-2002, 5th International Conference and Exhibition, 3-4 July 2002*, Commonwealth Institute, London W8. www.railwayengineering.com.
10. *Guided Ultrasonic (Rail) Ltd.*; www.guided-ultra-sonics.com.
11. *Greenwood Engineering A/S*; www.greenwood.dk.
12. *Научно-производственный* центр информационных и транспортных систем. <http://www.infotrans-logistic.ru>.
13. *Спосіб* контролю стану поверхні, що має опуклий профіль, переважно головок рейок та пристрій для його здійснення / Богданов В.Р.: заявка на патент № 2003021294, заявл. 13.02.2003
14. *Lon Works Technology Device Data. Rev.* — Motorola, 1997. — 750 p.

В. Богданов

ВАЖЛИВА СКЛАДОВА НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

(Нове у системі моніторингу рейок і коліс)

Резюме

У статті проаналізовано нові підходи до якісного контролю стану залізничного полотна і рухомого складу. Автор пропонує нові контрольні системи і вимірювальні прилади з використанням розподілених інтелектуальних мереж Lon Works.

V. Bogdanov

AN IMPORTANT ASPECT OF SAFETY AND RELIABILITY OF RAILWAY TRANSPORT

(New system of rails and wheels monitoring)

Summary

New approaches to the qualitative monitoring of a condition of rails and wheels are analysed in the article. Author proposes the new control and monitoring systems and measurement equipments with distributed intelligent systems Lon Works usage.

© Богданов Владислав Ромуальдович. Кандидат фізико-математичних наук. Старший науковий співробітник Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (Київ). 2003.