

## **ПРИЛОЖЕНИЕ НА РАЗЛИЧНИ КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗОПЪТНИ КОЛЕЛА В ИНСТРУМЕНТАЛНА КОЛООС**

**Ваньо Ралев<sup>1</sup>, Драган Петровић<sup>2</sup>, Милан Бижић<sup>2</sup>**  
vanio.rallev@gmail.com, petrovic.d@mfkv.kg.ac.rs, bizic.m@mfkv.kg.ac.rs

<sup>1</sup>ВТУ „Тодор Каблешков”, гр. София, ул. Гео Милев 158,  
БЪЛГАРИЯ

<sup>2</sup>Факултет „Машинни и строителни инженери“ – гр. Кралево към Университета  
в Крагуевац, Доситева 19, 36000, Кралево,  
СЪРБИЯ

**Ключови думи:** подвижен железопътен състав, инструментална колоос, сили в контакта „колело-релса”, стенд за калибриране.

**Резюме:** Идентифицирането на динамичното поведение на железопътните превозни средства е комбинация от теоретичен и експериментален подход. Анализират се основни аспекти на проблема за непрекъснато измерване на контактните сили „колело-релса” с помощта на инструментална колоос. Сред най-важните експериментални тестове на железопътните превозни средства е изследването на безопасността на движението и изследване поведението на железопътните превозни средства при преминаване през S кривина. Анализирани са основни проблеми в развитието на инструменталните колооси, които са свързани с определяне на оптимално разположение, брой и начин на свързване на тензодатчици, както и калибрирането на инструменталната колоос. Представени са стенд за калибриране и методика за измерване на контактните сили „колело-релса”, реализирани в лабораторията на Центъра за железопътни превозни средства на Факултет „Машинни и строителни инженери“ – гр. Кралево към Университета в Крагуевац, СЪРБИЯ. Специално внимание е отделено на приложението на МКЕ за определяне оптималното разположение на тензодатчиците за конструкции на колела, използвани от железопътни предприятия в РБългария. Представената симулация с приложението на системата Solid Works е предварително средство за започване на изследователския процес.

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Най-добрият начин за идентифициране на динамичното поведение на железопътните превозни средства е комбинация от теоретичен и експериментален подход. Експерименталните тестове в съчетание с прилагането на теоретични методи са основна предпоставка за процеса на разработване и проектиране на нови типове, или промени в експлоатационните характеристики и подобрения на съществуващите типове железопътни превозни средства и машини [1–12]. Това води до идентифициране на динамичното поведение на железопътните превозни средства, което се основава на научни предположения и позволява описание и обяснение на съществуващите явления [13,14,15,16]. Ето защо, експерименталните тестове в процеса на идентифициране на

динамичното поведение на железопътните превозни средства, както и в разработването на начини за повишаване на безопасността и сигурността имат огромно значение. Освен това, в процеса на сертифициране на всички новоразработени типове железопътни превозни средства, е задължително да са в съответствие с изискванията на международни стандарти, които третират тази област като UIC, TSI, EN, ERRI и др.

Сред най-важните експериментални тестове на железопътните превозни средства е изследването на безопасността на движението [17] и изследване поведението на железопътните превозни средства при преминаване през S кривина [18]. Едни от основните параметри, които се определят са силите при взаимодействието „колело-релса” и параметри като коефициента на безопасност срещу дерайлиране [19-25] и др.

В анализираната литература се намират голям брой решения, използващи уреди за измерване на напрежението в колелата. По принцип тези методи не изискват големи модификации на колелата (с изключение на незначителните модификации).

Съществуват различни стратегии, насочени към определяне на радиалното положение на тензодатчиците [26]. Те могат да бъдат поставени върху точки от диска на колелото, в които чувствителността към един от компонентите е нула, по точки със същата чувствителност към силите на контакта, за да бъдат правилно комбинирани в последваща обработка или близо до отвори, специално реализирани в диска.

Методите, представени в [27, 28], разглеждат използването на отвори, пробити в диска на колелата, за да се увеличи чувствителността към вертикалната сила в контактната точка „колело-релса” -  $Q$  чрез въвеждане на концентрация на напрежение, но не се взема предвид действителната позиция на контактната точка. В [29] са публикувани резултати от проведено проучване за измерване на позицията на контакт.

Методът за измерване, разработен в Университета "La Sapienza", Рим [30, 31], оценява силите в контактната точка „колело-релса”  $Y$  (хоризонтална) и  $Q$  (вертикална), чрез измерване само на напреженията на вътрешната и външната повърхност на диска, чрез отделяне на ефектите, предизвикани от компонентите  $Q$  и  $Y$ .

## **2. МЕТОД ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОНТАКТНИТЕ СИЛИ ОТ МАШИНИЯ ФАКУЛТЕТ В ГР. КРАЛЕВО, СЪРБИЯ**

В лабораторията на Центъра за железопътни превозни средства на Машиностроителен факултет в Кралево са разработени инструментална колоос (ИК), стенд за калибриране и методика за измерване на контактните сили на колело-релса [32, 33] с автори проф. д-р инж. Драган Петрович и гл. ас. д-р инж. Милан Билич. Разработената измерителна система позволява извършването на експериментални тестове по стандартите [34, 35]. Тази измервателна система е предназначена за непрекъснато измерване на хоризонталната  $Y$  и вертикалната  $Q$  сили, които възникват при контакт между колелото и релсата и се характеризира с безжично предаване на сигнали. Системата се основава на измерване на деформация на колелото с помощта на тензодатчици, поставени в специално подбрани точки, след което се дигитализира измервателният сигнал, радиопредаване към статичен електронен модул, поставен в кутия в измервателния вагон, както и подходяща обработка на приетите сигнали за изчисляване на стойностите на силовите компоненти  $Y$  и  $Q$ . Основните компоненти на системата са: две инструментални колооси, електронен компютърен блок за приемане и съхраняване на сигнали и компютърен модул за обработка и представяне на резултатите от измерването. Тези компоненти са свързани помежду си чрез безжична Ethernet мрежа **ISM 5.5 GHz**, която позволява комуникацията им.

Определянето на местоположението на измерващите преобразуватели се извършва по МКЕ. В [36, 37], този метод се прилага за решаване на проблема за

измерване на контактните сили между колелата и релсите чрез инструментални релси [38, 39] и се проверяват на реални обекти.

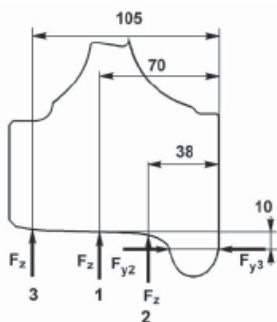
Тензопреобразувателите се свързват в Wheatstone мост (Уитстонов мост - УМ), които позволяват измерване на напрежението на колелата в реално време по време на движение.

От решаващо значение е да се намерят места или радиалните разстояния с максимални напрежения или места, в които колелото е най-чувствително към параметрите.

### 3. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОПТИМАЛНИТЕ МЕСТА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЕТО

Като основни модели на колелата са конструкции от най-големите производители на колела и колооси в света, използван в над 65 страни, като Bombardier, Alstom, Siemens, General Electric и др. [38].

За изчисляване на колелата се избират три типични случая на позиции на контактните точки колело-релса (фиг. 1).



Фиг. 1. Сили и позиции на точките за контакт.

- *случай 1*: права линия (центрирана колоос)

$$F_z = 1,25 P; F_{y1} = 0$$

- *случай 2*: крива (реборд притиснат към релсата)

$$F_z = 1,25 P; F_{y2} = 0,6 P \text{ за свободни колооси}$$

$$F_{y2} = 0,7 P \text{ за направляващи колооси}$$

- *случай 3*: стрелки и кръстовища (вътрешна повърхност на реборда, притиснат към релсата)

$$F_z = 1,25 P; F_{y3} = 0,6 P; F_{y2} = 0,36 P \text{ за свободни колооси}$$

$$F_{y3} = 0,6 P; F_{y2} = 0,42 P \text{ за направляващи колооси}$$

При натоварване на ос -  $2P = 22,5 \text{ t}$  силите са:  $F_{z1} = 137,95 \text{ kN}$  и  $F_{y2} = 66,22 \text{ kN}$ .

Въз основа на резултатите от МКЕ на моделите колела, се формират разстоянията на разположение на преобразувателите върху вътрешните и външните повърхнини на колелата [39].

#### 3.1. Оптимални места за измерване на напрежението за колела, производство на Bonatrans Group

За определяне оптималните места за измерване на напреженията от разработка [28] е избрано колела производство на Bonatrans Group, Чехия, предназначени да товарни железопътни превозни средства и нормално междурелсие. Параметрите на колоосите са: номинален диаметър на колелата в кръга на търкаляне **920 mm**; разстояние между кръговете на търкаляне на колелата от колооста **1500 mm**; разстояние между вътрешните челни повърхности на колелата **1360 mm**; разстояние между средите на шийките **2000 mm**; височина на реборд **28 mm**; дебелина на реборда **32,5 mm**; профил S1002 и материал за колелата ER7, EN 13262.

Моделът на колелото се създава в софтуерния пакет ANSYS съгласно техническата документация на производителя и се състои от **194516** крайни елемента от типа "tetrahedron" и **323535** възли [40]. Химичният състав и механичните свойства на колелото ER7 са определени в EN 13262 (якост на провлачване  $ReH = 520 \text{ N/mm}^2$ , якост на опън  $Rm = 820 \text{ N/mm}^2$ ) [39].

Представя се нов метод за определяне позицията на тензопреобразувателите върху диска на колелото. Това са следните разстояния:  $\rho = 180 \text{ mm}$ ,  $\rho = 262 \text{ mm}$  и  $\rho = 354 \text{ mm}$  от вътрешната страна, както и  $\rho = 180 \text{ mm}$ ,  $\rho = 262 \text{ mm}$  и  $\rho = 360 \text{ mm}$  върху външната страна на диска. Тези разстояния са най-подходящи за поставяне на сензори за измерване на положението на контактната точка  $y_{cp}$ . ( $\rho = 262 \text{ mm}$  върху вътрешната

страна, както и  $\rho = 262 \text{ mm}$  и  $\rho = 360 \text{ mm}$  върху външната страна на диска) са в съответствие с радиалните разстояния с най-високата чувствителност към силата  $Q$ .

По този начин за точно определяне на стойностите на параметрите  $Q$ ,  $Y$  и  $u_{cp}$  са необходими минимум четири независими измервателни сигнали или четири Wheatstone мостове (УМ). Всеки от трите активни преобразователи е свързан в независима конфигурация с половин мост с допълнителен датчик за компенсация на температурата. Използваните тензопреобразователи са производство на НВМ (Hottinger Baldwin Messtechnik) с номинално съпротивление  $R = 120 \Omega$  и коефициент на измерване  $k = 2,05$ .

Чрез свързване на тензодатчиците в Wheatstone мост се осигурява максимална чувствителност. Предаването на измервателни данни от въртящата се ос към кутията в измервателния вагон се извършва чрез радиовръзка посредством специален електронен модул. Захранването на цялата измервателна система се извършва чрез подходящ модул, който осигурява номинално напрежение от  $7.2 \text{ V}$ , и се базира на 12 акумулаторни клетки. Този батериен модул е монтиран на въртяща се ос чрез специален механичен носач, който позволява лесен монтаж и демонтаж.

Електронно-компютърната единица за приемане и съхраняване на сигнали по време на измерването се поставя в кутията вътре в измервателния вагон. Основната част от това устройство е персонален компютър, който работи под операционна система Windows, която е централната част на LAN Ethernet мрежата. Мрежовата LAN мрежа позволява събиране на сигнали от инструменталните колооси, както и акселерометри, преобразуватели за повдигане на колелата и други сензорни елементи.

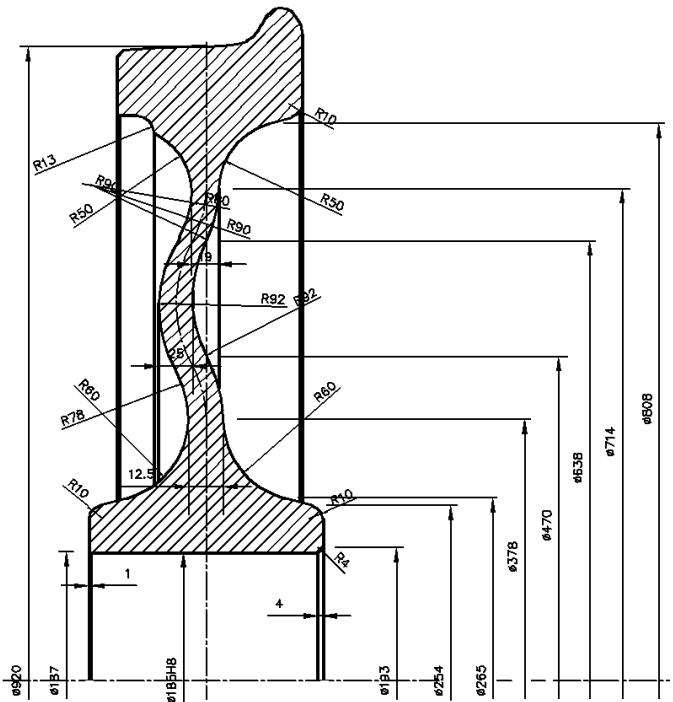
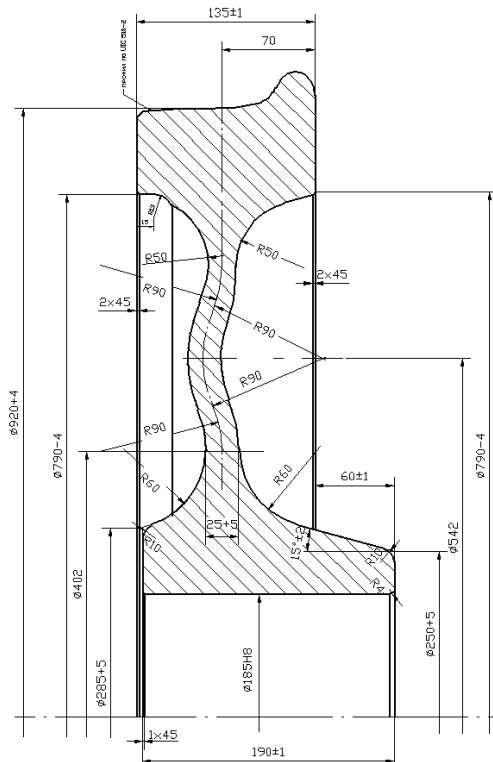
Компютърният модул за обработка и представяне на резултатите от измерването може да бъде разположен на отделно място извън или вътре в измервателния вагон. Този модул в реално време получава резултатите от измерването от единицата за съхранение и ги обработва по подходящ начин и показва резултатите от измерването.

За измервателната система е разработен специален софтуерен пакет, който се използва за настройка на параметри, свързани с получаване на сигнали от тензometri, като разделителна способност и скорост на преобразуване, интензификация на компенсация и сигнал, температурна компенсация и др.

Чрез измерените и регистрирани сили в контакта „колело-релса“ по изчислителен път могат да бъдат определени и други параметри на железопътни возила [41] при тяхното сертифициране по изискванията на EN 14363 и UIC 518, като международно утвърдения критерий на сигурност против дерайлиране на Nadal, „номинален“ критерий на сигурност против дерайлиране отчитащ рамната сила и влиянието на вертикалното натоварване на неатакуващото колело от измервателната колоос и др. [42].

### **3.2. Оптимални места за измерване на напрежението за колела, по UIC 810**

Най използваните конструкции железопътни колела в железопътните предприятия на РБългария са колела с дълга главина и номинална главина по UIC 810 и EN 13979-1:2003+A2:2011, показани на фиг.2 и 3.



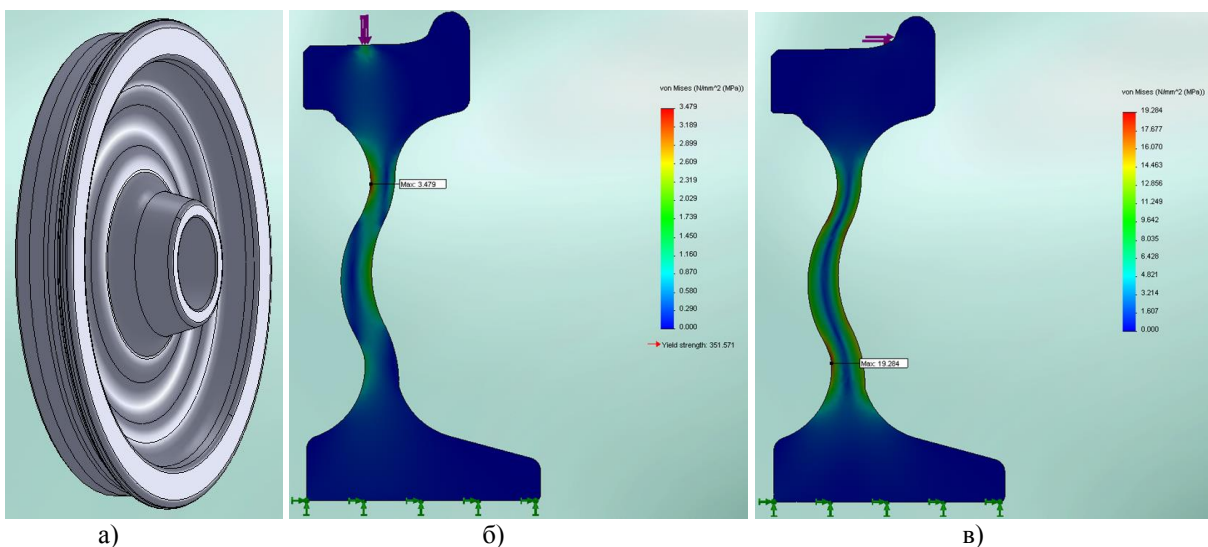
Фиг.2. Размери на колело с дълга главина.

Фиг.3. Размери на колело с номинална главина.

Моделът на колелото се създава в софтуерния пакет Solid Works 2010 съгласно техническата документация на производителя и се състои от 194736 крайни елемента от типа "tetrahedron" и 323900 възли. Химичният състав и механичните свойства на колелото ER7 са определени в EN 13262 (якост на провлачване  $R_{eh} = 520 \text{ N/mm}^2$ , якост на опън  $R_m = 820 \text{ N/mm}^2$ ) [39].

За натоварване на ос  $22,5 \text{ t}$  ( $P = 11,25 \text{ kN}$ )  $F_{z1} = 137,95 \text{ kN}$ ;  $F_{y2} = 66,22 \text{ kN}$ ;  $F_{y1} = 0 \text{ kN}$ ;  $F_{y2} = 66,22 \text{ kN}$ ;  $F_{y3} = 39,73 \text{ kN}$ .

Основната задача на анализа на напрежението от натоварването е идентифицирането на чувствителността на диска на колелото към индивидуалните действия на силите  $Q$  и  $Y$ , както и промяната на позицията на контактната точка -  $U_{cp}$ .



а)

б)

в)

Фиг. 4. Резултати от моделиране на колело с дълга главина по UIC 810.  
а) Модел на колелото; б) Напрежения при натоварване с  $F_{z1} = 137,95 \text{ kN}$ ;  
в) Напрежения при натоварване с  $F_{y2} = 66,22 \text{ kN}$ .

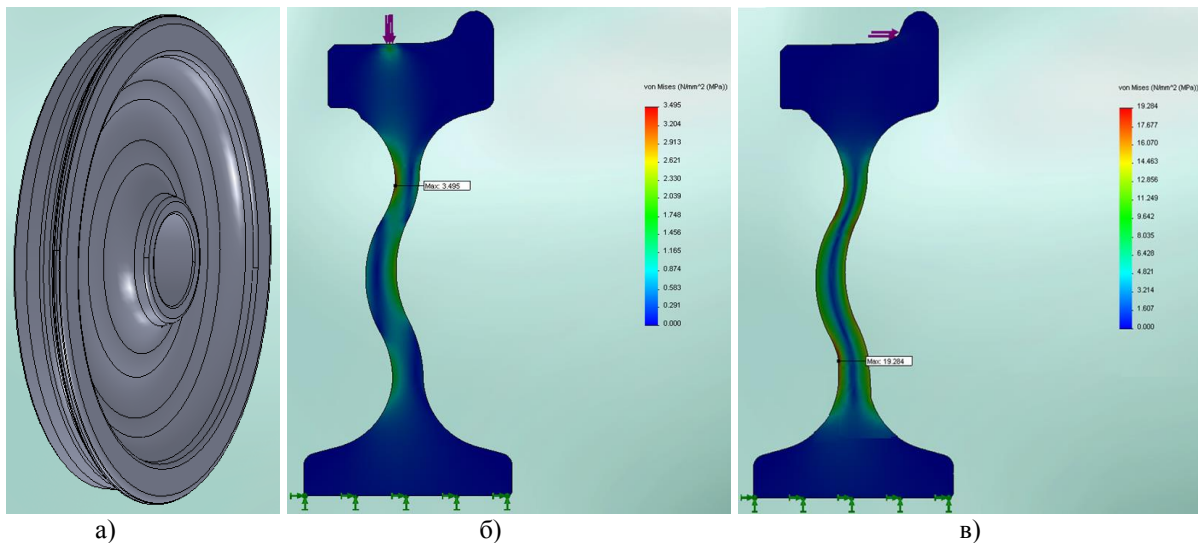
Резултатите от моделиране на колело с дълга главина (фиг.2) по UIC 810 със сили действащи в контактните точки „колело-релса” по изискванията на EN 13979-1:2003, са показани на фиг.4 при натоварване със сили  $F_{z1} = 137,95 \text{ kN}$ ;  $F_{y2} = 66,22 \text{ kN}$ .

В резултат позициите на тензопреобразователите върху диска на колелото са следните разстояния:  $\rho = 180 \text{ mm}$  и  $\rho = 360 \text{ mm}$  от вътрешната страна, както и  $\rho = 260 \text{ mm}$  и  $\rho = 360 \text{ mm}$  върху външната страна на диска. Тези разстояния са най-подходящи за поставяне на сензори на УМ за измерване на положението на контактната точка  $y_{cp}$ . ( $\rho = 260 \text{ mm}$  върху вътрешната страна, както и  $\rho = 260 \text{ mm}$  и  $\rho = 360 \text{ mm}$  върху външната страна на диска) са в съответствие с радиалните разстояния с най-високата чувствителност към силата  $Q$ .

Резултатите от моделиране на колело с номинална главина (фиг.3) по UIC 810 със сили действащи в контактните точки „колело-релса” по изискванията на EN 13979-1:2003, са показани на фиг.5 при натоварване със сили  $F_{z1} = 137,95 \text{ kN}$ ;  $F_{y2} = 66,22 \text{ kN}$ .

В резултат позициите на тензопреобразователите върху диска на колелото са следните разстояния:  $\rho = 180 \text{ mm}$  и  $\rho = 355 \text{ mm}$  от вътрешната страна, както и  $\rho = 260 \text{ mm}$  и  $\rho = 355 \text{ mm}$  върху външната страна на диска. Тези разстояния са най-подходящи за поставяне на сензори на УМ за измерване на положението на контактната точка  $y_{cp}$ . ( $\rho = 260 \text{ mm}$  върху вътрешната страна, както и  $\rho = 260 \text{ mm}$  и  $\rho = 355 \text{ mm}$  върху външната страна на диска) са в съответствие с радиалните разстояния с най-високата чувствителност към силата  $Q$ .

Резултатите от анализа на напрежението и деформацията трябва да бъдат проверени с експериментални тестове върху реални обекти или колела на избраната колоос.



**Фиг. 5.** Резултати от моделиране на колело с номинална главина по UIC 810.  
 а) Модел на колелото; б) Напрежения при натоварване с  $F_{z1} = 137,95 \text{ kN}$ ;  
 в) Напрежения при натоварване с  $F_{y2} = 66,22 \text{ kN}$ .

#### 4. СТЕНД ЗА ИЗПИТВАНЕ И КАЛИБРИРАНЕ НА ИК

Експерименталните изпитвания са най-надеждният начин за определяне на параметрите на динамичното поведение на железопътните превозни средства, особено на най-важните –колесно-релсови контакти. Няма универсален метод или техническо решение за експериментално определяне на тези сили. Също така, няма универсално техническо решение за инструментална колоос, което може да се характеризира като най-добро. Всеки метод и техническо решение, в зависимост от предназначението и

техническите характеристики, има съответни предимства и недостатъци в сравнение с останалите.

Изпитванията на инструменталната колоос с колела производство на Bonatrans Group, Чехия, предназначени да товарни железопътни превозни средства и нормално междурелсие са проведени върху изпитвателен (калибриращ) стенд в лабораторията на Центъра за железопътни превозни средства на Машиностроителен факултет в Кралево, който позволява прилагането на вертикални и хоризонтални сили към контакта колело-релса, както и промяната в позицията на контактната точка.

Основната задача на стенда е калибриране и тестване на инструменталната колоос на железопътни превозни средства в квазистатични и динамични режими на работа. Основната функция на изпитвателния стенд е да осигури контакт между колелото и релсата, както и да даде възможност за измерване на съотношението  $Y/Q$  в зависимост от положението на контактната точка между колелото и релсата.

Основните технически спецификации на изпитвателния стенд [43,44] (фиг.6) са дадени в таблица 1.



**Фиг. 6.** Изпитвателен (калибриращ) стенд в лабораторията на Центъра за железопътни превозни средства на Факултет „Машинни и строителни инженери“ – гр. Кралево към Университета в Крагуевац, СЪРБИЯ (снимката е направена по време на обучение по програма Erasmus+ за учебната 2018/2019)

Таблица 1. Технически спецификации на стенд за изпитване и калибриране на ИК.

Предназначение	Изпитване и калибриране на ИК
Режими на тестване	квази-статичен; динамичен
Поддържаща конструкция	стомана; профили UNP
Габаритни размери	Дължина 4147 mm; Височина 2935 mm; Ширина 2700 mm
Тип измервателните колооси	1435 mm; Товароносимост до 22.5 t
Задвижващ електромотор	380 V; 50 Hz; 7.5 kW
Честотен регулатор	380 V; 10 Hz; 3 PH
Максимален брой обороти	5 об/с
Максимална сила във вертикална посока	225 kN
Максимална сила в хоризонтална посока	100 kN
Конвертираща сила във вертикална посока	до 300 kN
Конвертираща сила в хоризонтална посока	до 300 kN
Системи за безопасност и сигурност	Електронни завеси; Бутон „стоп“

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията се идентифицират и анализират основните аспекти на проблема за непрекъснато измерване на контактните сили “колело-релса” с помощта на инструментална колоос. Идентифицирани са основни проблеми в развитието на инструменталните колооси, които са свързани с определяне на оптимално разположение, брой и начин на свързване на тензодатчици, както и калибрирането на инструменталната колоос. Специално внимание е отделено на приложението на МКЕ за определяне оптималното разположение на тензодатчиците за конструкции на колела, използвани от железопътни предприятия в РБългария. Представената симулация с приложението на системата Solid Works е предварително средство за започване на

изследователския процес. Действителните стойности на натоварването и динамичното поведение могат да бъдат измерени само на тестов или реален обект. Стойностите на параметрите на колелото, получени за компютърен модел, трябва да бъдат проверени чрез експеримент. Резултатите от тази статия дават много важни насоки за оптимално решаване на формулирани задачи, което е основна предпоставка за разработване на инструментални колооси с висока точност.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Versinskiy S., Danilov V., Celnokov I. (1978) *Dinamika vagona*, Izdatelstvo Transport, Moskva
- [2] Iwnicki S. D. (2006) *Handbook of railway vehicle dynamics*, Taylor & Francis
- [3] True H. (2007) *Dynamic Analysis of Vehicle Systems, Theoretical Foundations and Advanced Applications*, SpringerWienNewYork
- [4] Garg V. K., Dukkipati R. V. (1984) *Dynamics of railway vehicle systems*, Academic Press
- [5] Andersson E., Berg M., Stichel S. (2007) *Rail Vehicle Dynamics*, Railway Group KTH, Stockholm
- [6] Popp K., Kaiser I., Kruse H. (2002) *System dynamics of railway vehicles and track*, *Archive of Applied Mechanics*, Volume 72, Numbers 11-12, pp 949-961, DOI:10.1007/s00419-002-0261-6
- [7] Атнаджова Д. Сензор за измерване хоризонтално-напречна сила на колооси от железопътни возила, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция 2019, Велико Търново, Издателски комплекс на НБУ „Васил Левски” ISSN 2367-7481, 2019
- [8] Коларов И. Вибро-акустично оценяване на нецялостности в машинни елементи с цилиндрична форма. Национална научно-техническа конференция „Дни на безразрушителния контрол 2017”, Брой 1 (216), Созопол, 2017, ISSN 1310-3946.
- [9] Коларов И. Вибро-акустическо изследване на цилиндрични образци с конструктивни особености. Научно списание „Механика, Транспорт, Комуникации” том 14, брой 3/1, 2016 г., ISSN 1312-3823 (print), ISSN 2367-6620 (online)
- [10] Коларов И. Модел за вибро-акустическо оценяване на технически отклонения в машинни елементи с ротационна форма и относително голяма дължина. Национална научно-техническа конференция „Дни на безразрушителния контрол 2016”, Брой 1 (187), Созопол, 2016, ISSN 1310-3946.
- [11] Коларов И. Вибро-акустична оценка на геометрични отклонения на отливки. Национална научно-техническа конференция „АКУСТИКА 2018”, година XX , Брой 20, декември 2018 г. ISSN 1312-4897
- [12] Коларов И. Вибро-акустическо изследване на машинни елементи с ротационна форма и относително голяма дължина при изменение на твърдостта на материала. Национална научно-техническа конференция „Дни на безразрушителния контрол 2016”, Брой 1 (187), Созопол, 2016, ISSN 1310-3946.
- [13] Греков П., Колев П., Недев В., Статично и кинематично разглеждане на вагонна колоос, Сборник доклади на Конференция ВСУ' 2013, София, 2013
- [14] Греков П., Колев П., Недев В., Някои динамични въпроси от движението на задвижвана вагонна колоос, Сборник доклади на Конференция ВСУ, 2013
- [15] Греков П., Колев П., Недев В., Моделиране и изследване на движението на елементи от ходовата част на подвижен железопътен състав в холономна постановка, Сборник доклади на Конференция ВСУ' 2012, София, 2012



- [16] Греков П., Колев П., Недев В., Моделиране на нехолономната връзка при движение на колоос от подвижен железопътен състав, Сборник доклади на Конференция ВСУ' 2012, София, 2012
- [17] UIC CODE 518 OR (2009), Testing and approval of Railway vehicles from the point of view of their dynamic behavior – Safety – Track fatigue – Running behavior. 4th edition
- [18] EN 14363, “Railway applications - Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Testing of running behaviour and stationary tests”, CEN, Brussels, 2005.
- [19] Atmadzhova D., Processes and dependences related to Nadal’s formula IX International Scientific Conference HEAVY MACHINERY 2017, Zlatibor, Serbia, 2017, pp.E7-E16
- [20] Атнаджова Д., Привеждане в номинален вид на критерия против дерайлиране на железопътни возила НК с международно участие VulTrans-2017 на ТУ-София, Созопол 11-13 Септември
- [21] Атнаджова Д., Изследвания и приноси на нашата страна относно сигурността срещу дерайлиране на подвижен железопътен състав НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ „УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ НА ТРАНСПОРТНИТЕ СИСТЕМИ“ – 18-20 юни 2018 г. ФАКУЛТЕТ „ТМ“ ПРИ ВИСШЕ ТРАНСПОРТНО УЧИЛИЩЕ „ТОДОР КАБЛЕШКОВ“
- [22] Атнаджова Д., Метод за определяне безопасността срещу дерайлиране при железопътно произшествие НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ „УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ НА ТРАНСПОРТНИТЕ СИСТЕМИ“ – 18-20 юни 2018 г. ФАКУЛТЕТ „ТМ“ ПРИ ВИСШЕ ТРАНСПОРТНО УЧИЛИЩЕ „ТОДОР КАБЛЕШКОВ“
- [23] Атнаджова Д., Адаптиране критерия на Nadal към фактически експериментално получени резултати НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ „УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ НА ТРАНСПОРТНИТЕ СИСТЕМИ“ – 15-17 септември 2018 г. ФАКУЛТЕТ „ТСТТ“ ПРИ ВИСШЕ ТРАНСПОРТНО УЧИЛИЩЕ „ТОДОР КАБЛЕШКОВ“
- [24] Атнаджова Д., Графики на процесите, протичащи при дерайлиране по различни критерии НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ „УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ НА ТРАНСПОРТНИТЕ СИСТЕМИ“ – 15-17 септември 2018 г. ФАКУЛТЕТ „ТСТТ“ ПРИ ВИСШЕ ТРАНСПОРТНО УЧИЛИЩЕ „ТОДОР КАБЛЕШКОВ“
- [25] Atmadzhova D., Transforming analytical and analog dependencies of criteria against derailment of different classes Nis, XVIII SCIENTIFIC-EXPERT CONFERENCE ON RAILWAYS RAILCON "18, Serbia and Montenegro Faculty of Mechanical Engineering University of Nis, 2018
- [26] Ahlbeck D. R., H.D. Harrison: “Techniques for Measurement of Wheel-Rail Forces”, The Shock and Vibration Digest, 12(10), 1980, 31-41, 1980
- [27] Courtin J., B. Marmoret: “L’*évolution de la mesure des efforts d’interaction roue/rail*”, Revue Générale des Chemins de Fer, Vol. 105, 235-242, April 1986.
- [28] Ishida H., K. Fukazawa, M. Matsuo, K. Ueki, K. Tezuka: “A new continuous measuring method of wheel/rail contact forces”, Quarterly Reports of RTRI, vol. 35(2), 105-111, 1994.
- [29] Kanehara Hiromichi, Takehiko Fujioka, (2002) Measuring rail/wheel contact points of running railway vehicles, Wear, Volume 253, Issues 1-2, pp 275-283
- [30] Broggiato G.B., M. Bruner, R.V. Licciardello, “Studio numerico-sperimentale delle deformazioni di una sala ferroviaria di misura”, Associazione Italiana per L’analisi delle

- Sollecitazioni (AIAS) XXXII Convegno Nazionale, Università di Salerno, 3-6 Settembre 2003.
- [31] Broggiato G.B., E. Cosciotti: “Ottimizzazione della disposizione di ponti estensimetri sulle sale ferroviarie nella misura delle forze di contatto ruotarotaia”, *Ingegneria Ferroviaria*, 879-889, 11/ 2006
- [32] Bizic Milan, Tomic M, Djinovic Z and Petrovic D 2011 Test stand for calibration of measurement railway wheelsets Proc. of the 7th Int. Conf. Research and Development of Mechanical Elements and Systems - IRMES (Zlatibor, Serbia) pp 419–24
- [33] Bizic Milan, Petrović Dragan Z, Tomić Miloš С и Djinović Zoran V., Development of method for experimental determination of wheel–rail contact forces and contact point position by using instrumented wheelset, *Meas. Sci. Technol.* 28 (2017) 075902 (25pp), 2017 IOP Publishing Ltd Printed in the UK
- [34] Li Y, Lin J, Wang K, Liu J and Li J 2013 Study of wheel-rail force decouple based on instrumented rail *J. Mech. Eng.* 4 94–101
- [35] WIDEM project: “Instrumented Wheelsets for Two Type of Railway Vehicles” (tilting and freight train)” Project no. TST-CT-2005-516196, 2005
- [36] Nenov N., B. Skrobanski, Modeling of system for monitoring and control of rolling stock in motion on the rail network in the republic of Bulgaria, *BulTrans-2016*, 14 - 16 September 2016, Sozopol, pp. 185-190, *BulTrans-2016*, TU Sofia, 2016.
- [37] Nenov N., Dimitrov E, Piskulev P., Dodev, N., Development of specialized force sensor for railway wayside monitoring systems, 4th International Conference on Road and Rail Infrastructure, CETRA 2016, 23 – 25 May 2016, Šibenik, Croatia, 4th International Conference on Road and Rail Infrastructure, CETRA 2016.
- [38] [www.bonatrans.cz/en/](http://www.bonatrans.cz/en/)
- [39] EN 13262:2004 + A2 2011 Railway Applications - Wheelsets and Bogies –Wheels - Product Requirements (Paris: European Committee for Standardization, CEN)
- [40] Bizic M. 2015 Research of influential parameters in wheel-rail interaction on running stability of railway vehicles Doctoral Dissertation, University of Kragujevac, Faculty of Mechanical and Civil Engineering in Kraljevo, Serbia (in Serbian)
- [41] Nikolov V., Modeling and strength analysis of the axles of bogie with variable-gauge wheelsets, The Fourth International Symposium for Students CPMA 2015 , 2015
- [42] Атнаджова Д. Експериментално определяне на сили в контакта „колело – релса” на железопътни возила, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция 2019, Велико Търново, Издателски комплекс на НБУ „В. Левски” ISSN 2367-7481, 2019
- [43] Petrović D., Babić A., Bižić M., Đelošević M. (2010) Measuring equipment for dynamic and quasistatic testing of railway vehicles, Proceedings of the XIV Scientific-Expert Conference on Railways RAILCON, Nis, pp 177-181
- [44] Petrović D., Tomić M., Đinović Z., Bižić M., MEASURING SYSTEMS FOR TESTING THE SAFETY AND SECURITY OF RAILWAY VEHICLES, *MTC* 3, 2011 art. № 0577 ISSN 1312-3823

# APPLICATION OF DIFFERENT STRUCTURES RAILWAY WHEEL IN INSTRUMENTAL WHEELSET

**Vanio Ralev<sup>1</sup>, Prof. Dragan Petrovic<sup>2</sup>, Ass. Prof. Milan Bizic<sup>2</sup>**  
vanio.ralev@gmail.com, petrovic.d@mfkv.kg.ac.rs, bizic.m@mfkv.kg.ac.rs

<sup>1</sup> **Todor Kableshkov University of Transport, Sofia, 158 Geo Milev Str.  
BULGARIA**

<sup>2</sup> **Faculty "Mechanical and civil engineers" - Kraljevo, University of Kragujevac,  
Dositejeva 19, SERBIA**

**Key words:** rolling stock, instrumental wheelset forces in contact "wheel-rail" stand for calibration.

**Abstract:** The identification of the dynamic behavior of railway vehicles is a combination of theoretical and experimental approach. Main aspects are analyzed the problem of continual measurement of contact forces "wheel-rail" with the help of a instrumental wheelset. Among the most important experimental tests of railway vehicles is the study of traffic safety and study the behavior of railway vehicles passing through S curves. The main problems in the development of the instrument wheels are analyzed, which are related to the determination of the optimal position, the number and way of connecting the strain gauges, as well as the calibration of the instrumental wheelset. Presented are stand for calibration and measurement procedure of the contact forces "wheel-rail", realized in the laboratory of the Center for railway vehicles Faculty "Mechanical and civil engineers" - Kraljevo, University of Kragujevac, Serbia. Special attention is paid to the application of FEM to determine the optimal placement of strain gauges for wheels construct used by railway companies in Bulgaria. The presented simulation with the application of the Solid Works system is a preliminary tool for starting the research process.