

МЕТОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ, ИЗМЕРВАНЕ И МОНИТОРИНГ НА ЕКВИВАЛЕНТНАТА КОНИЧНОСТ

Владимир Жеков

vladijekov@gmail.com

ДП „НКЖИ“

София 1233, бул. “Мария Луиза“ 122а

РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *железен път, еквивалентна коничност, профил на релса, бандажен профил*

Резюме: Доклада разглежда въпросите свързани експлоатационната еквивалентна коничност, която представлява важен критерий за стабилността при движение на подвижния състав, особено при високи скорости. Разгледани са начините за определяне, прилаганите методики, технически средства за измерване и изискванията към тях. Направен е преглед на наличните проблеми и трудности в световната практика при определяне на експлоатационната еквивалентна коничност. Предоставени са данни за алтернативни методи за по – опростено определяне.

На тази база в доклада са предоставени препоръки относно въвеждане на система за мониторинг в българската железопътна мрежа, с което ефективно да се определя експлоатационната еквивалентна коничност и да се създаде възможност за изпълнение на изискванията на приложимите регламенти.

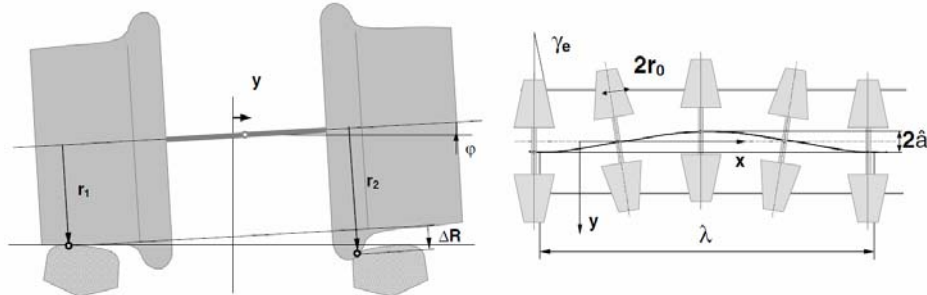
УВОД

От години в Република България при модернизацията и рехабилитация на главните железопътни линии, определени като част от основната и широкообхватна мрежа на ЕС съгласно Регламент 1315/2013 [1], се прилагат изискванията на Директива 2008/57/ЕО [2] за постигане на оперативна съвместимост, като респективно по отношение на железния път се изпълняват изискванията на ТСОС Инфраструктура, така както са определени в Регламент 1299/2014 [3]. С прилагането на регламента се повдигна въпроса за еквивалентната коничност и докато за проектната еквивалентна коничност въпроса е решен, поради прилагането на типови за европейската практика релси и бандажи, експлоатационната еквивалентна коничност все още е слабо позната и не е предмет на мониторинг от експлоатационното дружество. Към момента не са налични методики и оборудване за определяне на стойностите на експлоатационната еквивалентна коничност в българската конвенционална железница.

Поради това настоящия доклад разглежда възможностите за прилагане на методи за определяне и мониторинг на експлоатационната еквивалентна коничност.

ДЕФИНИЦИЯ НА ЕКВИВАЛЕНТНАТА КОНИЧНОСТ

При движението на подвижния състав върху релсовия път, положението на колооста спрямо пътя не е центрирано, а представлява периодично движение около оста с амплитуда $2a$ и дължина на вълната λ (фиг.1). Това кинематично движение е описано математически за първи път от Клингел през 1883г., които показва, че честотата е пропорционална на скоростта и наклона на ъгъла на конуса.



Фиг.1. Схематично представяне на кинематичното движение на колоос върху железен път [5]

Еквивалентната коничност (1) е коничността на нелинеен профил на бандажа, която има същата дължина на вълната (2), като съотнесим коничен профил. Определянето се извършва по следната формула:

$$(1) \quad \tan \gamma_e = \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot d \cdot r_0,$$

, където: d – разстояние между кръговете на тръкаляне на колелата;
 r_0 - радиус на тръкаляне при съосие на колооста и коловоза;

$$(2) \quad \lambda = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d \cdot r_0}{2 \cdot \tan \gamma}} - \text{дължина на вълната при лъкатушене на колооста,}$$

където: γ – наклон на конусната част на колелата.

Определянето на еквивалентната коничност е дефинирано в европейския стандарт EN 15302:2008+A1:2010 [6] и в код на Международният съюз на железниците - UIC 519 [7]. Извършва се чрез линейна регресия при конични и проектни колела и нелинейна регресия при неконични и износени колела.

Еквивалентната коничност е критерий за напречната стабилност на подвижния състав при движението му по релсовия път. Това има голямо значение особено при високи скорости [8].

ГРАНИЧНИ СТОЙНОСТИ НА ЕКВИВАЛЕНТНАТА КОНИЧНОСТ

В Регламент 1299/2014 [3], т. 4.2.11.2 е посочено, че при определяне на наличие на нестабилност при движение, железопътния оператор и управителя на инфраструктурата чрез съвместни действия да определят участъка и да предприемат действия по отстраняване на проблема.

За целта управителя на инфраструктурата трябва да извърши измервания на междурелсието и профила на релсовата глава в разглеждания участък. От измерванията се изчислява средна еквивалентна коничност на 100 m, чрез моделиране на износените релсови профили с проектните профили S1002 и GV 1/40, съгласно т.4.2.4.5 от Регламент 1299/2014.

Получените стойности не трябва да надвишават следните гранични стойности [3]:

Таблица 1

Диапазон на скоростите(km/h)	Профил на колелата
	S1002, GV1/40
$V \leq 60$	не се изисква оценка
$60 < V \leq 120$	0.40
$120 < V \leq 160$	0.35
$160 < V \leq 230$	0.30
$V > 230$	0.25

Следователно управителя на инфраструктурата трябва да има процедура за определяне на еквивалентната коничност по определени участъци от мрежата или процедура за спешни действия при установена нестабилност на движение в даден участък.

ИЗМЕРВАНЕ И ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННАТА ЕКВИВАЛЕНТНА КОНИЧНОСТ

За определяне на експлоатационната еквивалентна коничност е необходимо да е налична информация за действителната геометрична форма на бандажите и релсите, тъй като, в резултат на експлоатацията, настъпва износване и изменение на проектните профили. Възможни са различни комбинации от износени и проектни профили в зависимост от целите на изследването, като стандарт EN 15302:2008+A1:2010 [6] определя няколко основни:

Таблица 2

№	Приложение	Профил на бандаж	Профил на релса
1.	Приложение на еквивалентна коничност за процедура по стандарт EN 14363:2005, т. 5.4.3.3	измерен /в натоварено състояние/	проектен
2.	Изследване на поведението/стабилност на подвижен състав	измерен /в натоварено състояние/	измерен /в натоварено състояние/
3.	Изследване за напречна нестабилност установена при тест, съгласно процедурите на стандарт EN 14363:2005, 5.4.4.5	измерен /в натоварено състояние/	измерен /в натоварено състояние/
4.	Оценка на релсови профили за установяване на необходимост от действия по поддържането (репрофилиране, шлайфане)	проектен	измерен /в натоварено състояние/
5.	Оценка на състоянието на бандажни профили, установяване на необходимост действия по поддържането (репрофилиране)	измерен /в натоварено състояние/	проектен
6.	Теоретична оценка в процеса на проектиране	проектен	проектен

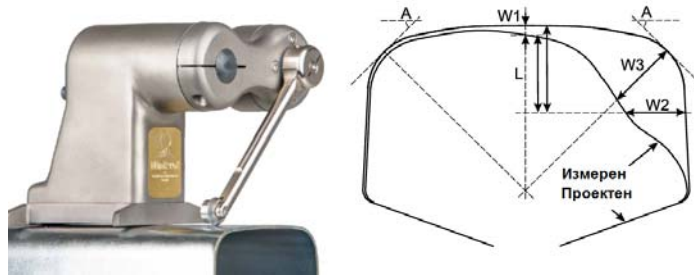
УРЕДИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ПРОФИЛИ НА РЕЛСИ

На базата на направения преглед на съществуващите уреди за измерване на релсовите профили може да се обособи следната опростена класификация:

- ◆ ръчни: контактни или безконтактни;
- ◆ автоматизирани.

Ръчните контактни уреди се характеризират с необходимостта от контакт между измерващата част и релсата, като движението на тази част се осъществява ръчно. Такава система е добре познатата в международната практика MiniProf [9].

На фиг. 2a) е показана системата MiniProf за измерване на релсови профили, а на фиг.2b) пример за определяне на зададени параметри на износването, като показаното не изчерпва всички възможности.



Фиг.2. а) – Уред за измерване на профил на релсата; [9]
 б) – Параметри за определяне на износване [9]

При работа уреда се поставя ръчно на двете релси, след което се активира режим на измерване и ръчно се преминава по профила на релсата с показаното подвижно устройство. Данните от измерения профил се показват на свързания с уреда контролер. Съхраняват се и обработват чрез специализирания софтуер, като има допълнително приложение за изчисляване на еквивалентната коничност.

Характерно за този тип измервателни системи е високата точност, достигаща до $11\mu\text{m}$ (0.01 mm). Това е важно, тъй като за коректни изчисления на еквивалентната коничност е необходима точност от минимум 0.1 mm.

При ръчните безконтактни уреди не е необходим контакт с релсата за измерването. Пример за този тип системи е уреда Calipri (фиг.3) [10]. Измерването се извършва чрез ръчно преместване на уреда от всички страни на релсата, като при завършване на процеса се извежда съобщение от контролера. Точността при това устройство е $80\mu\text{m}$ (0.08 mm), което удовлетворява високите изисквания за точност при определяне на еквивалентна коничност.



Фиг.3. а) – Уред за измерване на профил на релсата Calipri [10];
 б) – Параметри за определяне на износване [10]

Основния недостатък на ръчните методи на измерване е трудоемкия и бавен процес за определяне на еквивалентната коничност за определени профили.

Автоматизираният метод на измерване е по-подходящ при измерване на експлоатационната еквивалентна коничност за участъци от мрежата с голяма дължина. Обикновено измервателните устройства се монтират на пътеизмерителна мотриси или друг подвижен състав, като в някои случаи могат да функционират и при високи скорости. Те използват безконтактен оптичен метод, като се състоят от лазери, които проектират образ върху релсата и група от прецизни камери, записващи изображение. Принципна схема на автоматизирана система за измерване е показана на фиг. 4.

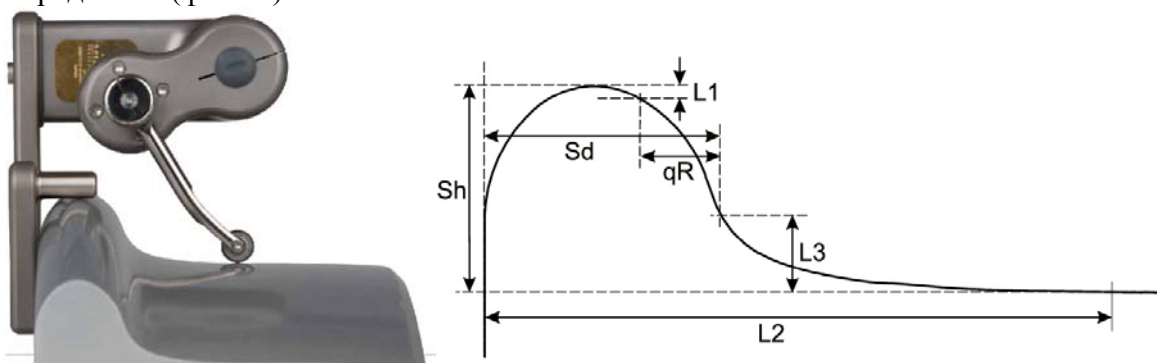


Фиг.4. Система за автоматизирано измерване на профила на релса при движение[11]

За разлика от ръчните измервателни системи, при автоматизираните има висока производителност, като при висока скорост могат да се направят измервания на профилите на релсите с достатъчна честота. Тук проблем може да бъде точността на измерване, както и възможността за отразяване от релсата. Автоматичните системи са приложими за измерване на дълги участъци от мрежата и съставяне на карти с коничността.

УРЕДИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ПРОФИЛИ НА БАНДАЖИ

Уредите за измерване на профилите на бандажите също могат условно да се разделят на ръчни и автоматизирани. Устройството и принципа на работа на ръчните уреди не се отличава съществено от вече разгледаните уреди за измерване на релсовия профил. На фиг. 5а) е показана системата Miniprof Wheel [10] за измерване на бандажен профил, както и принципна схема на възможни параметри, които могат да бъдат определени (фиг.5b).



**Фиг.5. а) – Уред за измерване на профил на бандажа[10];
б) – Параметри за определяне на износване[10]**

Предимство на ръчните системи е тяхната висока точност, като са по-трудоемки при необходимост от голям брой измервания.

Автоматичните системи за измерване на профила на бандажа обикновено се монтират на железния път и осигуряват възможност за бързо определяне на параметри на профила при преминаване на подвижния състав (фиг.6). Методът на измерване е безконтактен оптичен, като се използва съчетание от лазери, проектиращи образ върху колелото и камери за изображение. Изискванията за точност на измерения профил за определяне на еквивалентна коничност са постижими по тази технология.



Фиг.6. Система за автоматизирано измерване на профила на бандажите[12]

Автоматизираните системи дават възможност за бързо определяне на износени профили над допустимите граници и по този начин за предприемане на спешни действия по поддържането.

ТРУДНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЯНЕТО НА ЕКСПЛОАТАЦИОННАТА ЕКВИВАЛЕНТНА КОНИЧНОСТ

Определянето на експлоатационна еквивалентна коничност за всеки преминаващ подвижен състав по участъци от дадена железопътната мрежа представлява трудна задача. Реалното взаимодействие може да бъде определено само между измерени профили на релса и измерени профили на бандажа на колелата. Като се има предвид големия брой преминаващ подвижен състав ежедневно в определени участъци и това че се преминава през различни участъци с различна степен на износване на релсовите профили, то определянето на реалната еквивалентна коничност е на практика изключително усложнен процес.

Поради тази причина обикновено управителя на инфраструктурата извършва измервания на релсовите профили и изчислява еквивалентната коничност с проектен бандажен профил. По този начин се установяват участъци с висока коничност и могат да се предприемат мерки. От друга страна чрез измервания на профилите на бандажите и установяване на стойностите на еквивалентна коничност, изчислени с проектни профили на релси, оператора на подвижния състав може да осъществява контрол.

В австрийската железопътна мрежа от години извършват измервания на еквивалентната коничност, използвайки автоматизирана система монтирана на пътеизмерителен вагон. На базата на получените резултати, които се съхраняват в база данни, се анализира и преценява за дейности по поддържането.

Като се има предвид посочената трудност при определянето на експлоатационната еквивалентна коничност се правят опити за разработване на по-опростени методи, които да предоставят перспективна информация. До този момент разработките показват, че така наречения метод „quick conicity“ [13] предоставя задоволителни резултати. Той преминава през редица проучвания по проекта ДупоTRAIN [29], които потвърждават определените зависимости.

ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

С оглед на изискванията на Регламент 1299/2014 наложително е да се въведе процедура за определяне на експлоатационната еквивалентна коничност. Управителя на инфраструктурата може да подходи по два основни начина.

Първият е да състави процедура за мониторинг на еквивалентната коничност, като оборудва основните управления с оборудване за ръчно измерване и създаде възможност при докладване за нестабилност на движение да има възможност за измерване и предприемане на действия. Това ще създаде възможност за прилагане на изискванията на регламентите.

Вторият подход е да бъде закупена автоматизирана техника, да бъде тествана и след въвеждане на работна процедура, да се измерват участъци от мрежата, да се съставят карти с коничността и да се предприемат мерки за отстраняване на проблемни участъци. Освен информация за стойностите на еквивалентната коничност по този начин ще се придобиват важни данни за степента на износване, както в правите, така и в кривите.

За да се избере най – подходящия подход управителя на инфраструктурата и подвижния състав трябва да съставят работни групи за анализ и въвеждане на процедура. Единствено чрез задълбочен анализ и проучване на опита на други администрации, които са въвели процедура, може да се въведе ефективен метод за измерване и оценка на еквивалентната коничност.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. РЕГЛАМЕНТ (ЕС) № 1315/2013 НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ПАРЛАМЕНТ И НА СЪВЕТА от 11 декември 2013 година относно насоките на Съюза за развитието на трансевропейската транспортна мрежа и за отмяна на Решение № 661/2010/ЕС,), Официален вестник на Европейския съюз, 2013 г
- [2]. Директива 2008/57/ЕО на европейския парламент и на съвета от 17 юни 2008 година относно оперативната съвместимост на железопътната система в рамките на Общността (преработена версия), Официален вестник на Европейския съюз, 18.7.2008 г
- [3] РЕГЛАМЕНТ (ЕС) № 1299/2014 НА КОМИСИЯТА от 18 ноември 2014 година относно техническите спецификации за оперативна съвместимост по отношение на подсистемата „инфраструктура“ на железопътната система в европейския съюз Официален вестник на Европейския съюз. 2014 г.
- [4] РЕГЛАМЕНТ (ЕС) № 1302/2014 НА КОМИСИЯТА от 18 ноември 2014 година относно техническата спецификация за оперативна съвместимост по отношение на подсистемата „Подвижен състав — локомотиви и пътнически подвижен състав“ на железопътната система в Европейския съюз, Официален вестник на Европейския съюз. 2014 г.
- [5]. Hanreich W., Mittermayr P, Presle G. Track Geometry Measurement Database and Calculation of Equivalent Conicities of the OBB Network, , AREMA Conference 2002
- [6]. CEN European Committee for Standardization, EN 15302:2008+A1:2010. Railway applications - Method for determining the equivalent conicity, 2010
- [7]. UIC CODE 519, Method for determining equivalent conicity, International union of railways, 1st edition, Paris, December 2004
- [8]. Bevan, Adam (2015) Effective Management of the Wheel Rail Interface on Light rail Networks. In: 1st Annual WRI EU Conference, 21st 23rd October 2015, Derby, UK.
- [9]. MiniProf. Greenwood Engineering A/S. Denmark. [онлайн]. [прегледан 26.02.2018]. <https://www.greenwood.dk>
- [10]. Calipri. Nextsense. [онлайн]. [прегледан 26.02.2018]. <https://www.nextsense-worldwide.com/>
- [11]. MERMEC S.p.A., Italy. [онлайн]. [прегледан 26.02.2018]. <http://www.mermecgroup.com/>
- [12]. KLD Labs, Inc, [онлайн]. [прегледан 26.02.2018]. <http://www.kldlabs.com/>
- [13]. Burstow M. C., Haigermoser A. Improving management of the wheel/rail interface: A simple method to determine equivalent conicity. World Congress on Railway Research (WCRR) 2016, Milan, Italy

METHODS FOR DETERMINING, MEASURING AND MONITORING EQUIVALENT CONICITY

Vladimir Zhekov
vladijekov@gmail.com

National Railway Infrastructure Company
Sofia 1233, bul. "Knyaginya Mariya Luiza" 122a
THE REPUBLIC OF BULGARIA

Key words: *railway, equivalent conicity, rail profile, rim profile*

Abstract: *The report examines the issues related to operational equivalent conicity, which is an important criteria for rolling stock stability, especially at high speeds. The methods of determination, applied methodologies, technical means of measurement and the requirements for them are considered. An overview of the available problems and difficulties in world practice in determining the operational equivalent conicity has been made. Data are provided for alternative methods for simpler determination.*

On this basis, the report provides recommendations regarding the introduction of a monitoring system in the Bulgarian railway network, with which to effectively determine the operational equivalent conicity and to create an opportunity to fulfill the requirements of the applicable regulations.