

АНАЛИЗ НА НОРМИТЕ ЗА ТРАМВАЙНИЯ РЕЛСОВ ПЪТ И ХОДОВАТА ЧАСТ НА ТРАМВАЙНИТЕ МОТРИСИ В ГРАД СОФИЯ

Емил М. Михайлов, Владимир Жеков

emm_1968@abv.bg, jekov@gbg.bg

**Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”,
ул. “Гео Милев” 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: трамвайна моториса, коловоз, норми, трамваен релсов път, колооси

Резюме: В настоящият материал се съпоставят и анализират действащите норми за трамвайния релсов път и ходовата част на трамвайните моториси работещи в град София. Проучването е направено при търсене на причините за различните по тип и степен износвания на релсите и трамвайните колела. Разглеждат се правилниците определящи изискванията за трамвайния релсов път и ходовата част на трамваите. Не е установена връзка при въвеждането на различните норми. В материалът са съпоставени нормите и е направен анализ по критерия „еквивалентна коничност”, също така е взето предвид по-ранно изследване на проблема. Разгледани са възможните девет комбинации на граничните размери на колоосите в участък от релсовия път изграден с улейни и виньолови релси. Установено е, че при коловоз изграден с улейни релси в два от вариантите може да настъпи заклинване на колооста. При долен допуск на коловоза и горен допуск на колооста има заклинване по работната страна на ребордите. При горен допуск на коловоза и долен допуск на колооста контакт на челото на реборда на колелото и реборда на релсата се появява значително преди достигане на работната част на реборда на другото колело с главата на релсата. Анализът на проблема чрез критерия „еквивалентна коничност” показва, че при тези варианти има и неблагоприятен контакт между коловоза и колооста. На базата на тези анализи се препоръчва синхронизиране на правилниците за трамвайния релсов път и ходовата част трамвайните моториси.

1. УВОД.

Трамвайният релсов път (ТрРП) и ходовата част на работещия в град София трамваен подвижен състав (ТрПС) се подчиняват на различни нормативни документи, които са издавани в различни години и са отразявали различни държавни и международни изисквания в тази област. Проучването показва, че има несъответствие при определяне на нормите за изграждане на ТрРП от една страна и параметрите на колоосите на ТрПС от друга.

2. НОРМИ ЗА ТРАМВАЕН КОЛОВОЗ И КОЛООСИ НА ТРАМВАИТЕ.

Нормите за изграждане и контрол на трамвайния релсов път са регламентирани с „Правилник с технически изисквания и норми за трамваен релсов път” [1]. Нормите за

конструирани и контрол на колоосите и колелата на трамвайния подвижен състав, както и на друг подвижен състав са регламентирани с „Правилник за техническата експлоатация на трамваите” [2] на СГНС от 1974 година. В съответствие с този Правилник през 1994 година в ремонтното предприятие ОбФ „Трамкар – София” е утвърдена за вътрешно приложение „Инструкция за колоосите на трамвайните мотриси” [3].

2.1. Норми за трамваен релсов път.

Нормите за трамвайния релсов път [1], които касаят контакта с колелата на ТрПС са показани в Таблица 1.:

Таблица 1.

Параметър:	Стойност:	
	Тясно междурелсие:	Нормално междурелсие:
Междурелсие:	$2S_{sf} = 1009 \text{ mm}^{1)}$	$2S_n = 1435 \text{ mm}^{2)}$
Отклонения от междурелсието на нов и ремонтиран коловоз:	$2S_{sf} = 1009^{+3}_{-2} \text{ mm}$	$2S_n = 1435^{+3}_{-2} \text{ mm}$
Отклонения от междурелсието на коловоз в редовна експлоатация:	$2S_{sf} = 1009^{+13}_{-4} \text{ mm}$	$2S_n = 1435^{+13}_{-4} \text{ mm}$
Минимална странична хлабина между релсите и ребордите на колооста:	$\sigma_{\min} = 4 \text{ mm}$	$\sigma_{\min} = 4 \text{ mm}$
Отклонение от височината на релсите една спрямо друга при ново строителство:	$\pm 3 \text{ mm}$	$\pm 4 \text{ mm}$
Отклонение от височината на релсите една спрямо друга при коловоз в редовна експлоатация:	$\pm 12 \text{ mm}$	$\pm 15 \text{ mm}$
Максимален радиус на крива в план:	$R_{\max} = 2000 \text{ m}$	
Минимален радиус на крива за ново строителство при $V_{\min} = 50 \text{ km/h}$ и h_{\max} :	$R_{\min} = 120 \text{ m}$	
Минимален радиус на крива за коловоз в редовна експлоатация и реконструкция:	$R_{\min} = 20 \text{ m}$	
Максимално надвишение:	$h_{\max} = 100 \text{ mm}$	$h_{\max} = 150 \text{ mm}$
Минимално надвишение:	$h_{\min} = 20 \text{ mm}$	
Максимално уширение: $\Delta c = 7 \text{ mm}$	1016 mm	1442 mm

2.2. Норми за колоосите на трамвайния подвижен състав.

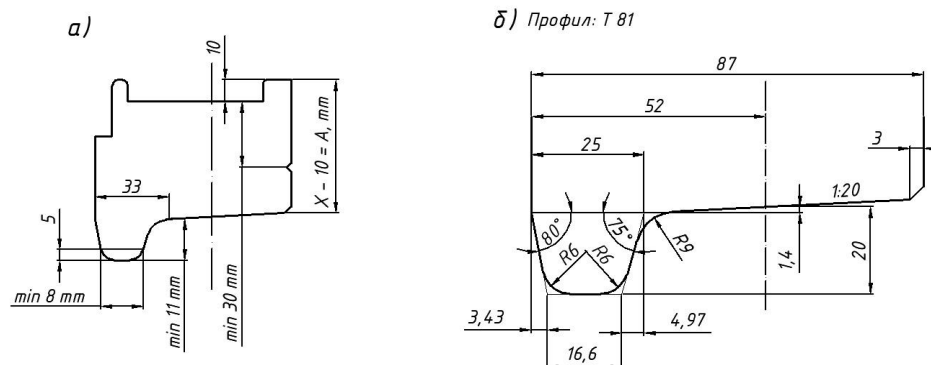
Нормите за ходовата част на трамвайните возила [2] са показани в Таблица 2.:

Таблица 2.

Параметър:	Стойност:	
	мотриса:	ремарке:
Междубандажно разстояние:	$e = 958^{+2}_{-2} \text{ mm}$	
Минимална височина на реборда:	11 mm	10 mm
Минимална дебелина на реборда:	8 mm	
Минимална дебелина на бандажа:	30 mm	25 mm
Разлика в диаметрите на колелата на една колоос, нова или след ремонт:	1 mm	
Разлика в диаметрите на колелата на една колоос в експлоатация:	2 mm	
Разлика в диаметрите на колелата на всички двигателни колооси, нови или след ремонт:	1 mm	
Разлика в диаметрите на колелата на всички двигателни колооси в експлоатация:	2 mm	
Разлика в диаметрите на колелата на всички недвигателни колооси, нови или след ремонт:	5 mm	
Разлика в диаметрите на колелата на всички недвигателни колооси в експлоатация:	8 mm	
Максимално окопаване на бандажа:	$0,6 \text{ mm}$	

На фигура 1.а. са показани минималните стойности на контролираните размери на трамвайните бандажи и контролните сечения. Височината на реборда се мери от точка, на разстояние 33 mm от челото на бандажа. Дебелината на реборда се мери на 5 mm от върха на реборда. Дебелината на бандажа се измерва от външната страна на колелото, като се изважда височината на борда за ограничаване на тампоните – 10 mm .

На фигура 1.б. е показан бандажен профил Т 81 с неговите размери.



Фиг. 1. Трамваен бандаж с профил Т 81.

3. СЪПОСТАВКА НА НОРМИТЕ ЗА ТРАМВАЕН КОЛОВОЗ И КОЛООСИ НА ТМ.

Всеки един от разгледаните по-горе правилници, определящи съответно нормите за трамвайния релсов път [1] и ходовата част на подвижния състав [2] определя норми без да се съобразява с изискванията на другия. Двата правилника определят различни контролни сечения за пътя и колоосите.

Правилникът за ТрРП [1] определя като контролно сечение нивото на контрол на междурелсието. Т.е. за виньолови релси 14 mm под ниво глава релса, а за улейни релси 9 mm под ниво глава релса. В същото време съгласно [2] контролното сечение за дебелината на реборда (фиг. 1.а) е на 5 mm под върха му. Тогава минимална странична хлабина σ_{\min} между вътрешните стени на главите на релсите и ребордите на колооста не се определя къде да бъде контролирана.

3.1. Определяне на страничната хлабина по нивото за контрол на междурелсието.

Предвид профилите на бандажа и главите на двата вида релси при различните допуски на междурелсието те контактуват по различни радиуси на колелата.

Двете контролни сечения са най-близко при коловоз с виньолови релси. При нови коловоз и колоос с номинални размери двете нива са на разстояние до 2 mm . Докато при коловоз изграден с улейни релси разликата в нивата на контролните сечения са над 6 mm .

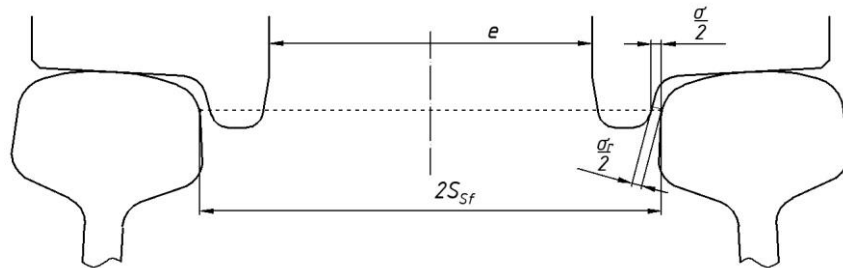
При съосие на коловоза и колооста страничната хлабина се разпределя по равно при двете колела (фиг. 2.), т.е. $\sigma_{\min}/2 = 2\text{ mm}$. Може да се измери и най-малкото разстояние между реборда на колелото и главата на релсата $\sigma_r/2$.

При улейните релси има още два размера, които трябва да бъдат взети под внимание. Това са (фиг. 3.) разстоянието между челото на реборда на колелото и реборда на релсата $\sigma_f/2$ по нивото за контрол на междурелсието и аналогично най-малкото разстояние между тях $\sigma_{fr}/2$.

3.1.1. Странична хлабина при коловоз изграден с виньолови релси.

На фигура 2. е показано геометричното положение при съосие на коловоз с тясно междурелсие, изграден с виньолови релси и колоос с номинални размери. Прекъснатата линия е нивото за контрол на междурелсието.

При тесен коловоз с номинални размери, изграден с виньолови релси (фиг. 2.) и колоос с номинален размер, страничната хлабина σ е в нормите (табл. 2.). Също така в норми σ е при коловоз с размер на горния допуск с всички варианти размери на колооста.



Фиг. 2. Контакт при коловоз изграден с виньолови релси и колоос с номинални размери.

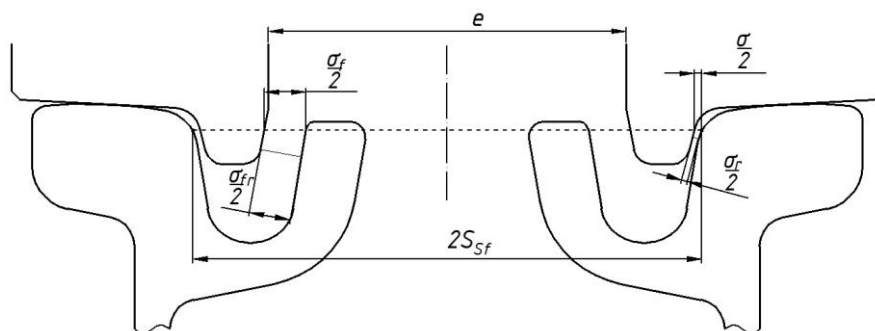
Интерес представлява комбинацията на междурелсие с размер на долния допуск и колоос номинален размер и с размер на горния допуск на междубандажното разстояние. При тези комбинации $\sigma < \sigma_{\min}$.

Таблица 2.

Колоовоз:	$e = 958 \text{ mm}$		$e = 958 + 2 \text{ mm}$	
	$\sigma/2, \text{ mm}$	$\sigma_r/2, \text{ mm}$	$\sigma/2, \text{ mm}$	$\sigma_r/2, \text{ mm}$
$2S_{SF} = 1009 - 4 \text{ mm}$	1,81	1,74	0,82	0,79
$2S_{SF} = 1009 \text{ mm}$	3,78	3,65	2,80	2,69

3.1.2. Странична хлабина при коловоз изграден с улейни релси.

На фигура 3. е показано геометричното положение при съосие на коловоз с тясно междурелсие, изграден с улейни релси и колоос с номинални размери. Прекъснатата линия е нивото за контрол на междурелсието.



Фиг. 3. Контакт при коловоз изграден с улейни релси и колоос с номинални размери.

Профилът на улейните релси внася допълнително ограничение в разположението на колооста при различните варианти при комбиниране на граничните размери на коловоза и колооста. В таблица 3. са показани стойностите на страничната хлабина $\sigma/2$ и стойностите на $\sigma_f/2$ - разстоянието между челото на ребора на колелото и ребора на релсата (фиг. 3.) за различните варианти. В отделни графи са показани стойностите на разликата им.

Таблица 3.

Колоос: Коловоз:	$e = 958 - 2 \text{ mm}$			$e = 958 \text{ mm}$			$e = 958 + 2 \text{ mm}$		
	$\sigma/2$, mm	$\sigma_f/2$, mm	$\frac{\sigma_f - \sigma}{2}$	$\sigma/2$, mm	$\sigma_f/2$, mm	$\frac{\sigma_f - \sigma}{2}$	$\sigma/2$, mm	$\sigma_f/2$, mm	$\frac{\sigma_f - \sigma}{2}$
$2S_{SF} = 1009 - 4 \text{ mm}$	1,47	15,2	13,73	0,13	16,21	16,08	-0,5	17,21	17,71
$2S_{SF} = 1009 \text{ mm}$	3,44	13,18	9,74	2,04	14,19	12,15	1,47	15,2	13,73
$2S_{SF} = 1009 + 13 \text{ mm}$	9,85	6,62	-3,23	8,25	7,65	-0,6	7,87	8,63	0,76

Стойностите на $\sigma/2$ от таблицата показват, че при четири от случаите не се спазва изискването на минимална странична хлабина. А при коловоз на долния допуск и колоос на горния допуск настъпва заклиняване на колооста и пътя. В този случай има заклиняване на колооста или търкаляне с приплъзване на поне едното колело по точки от работната повърхнина на реборда му.

Интерес представляват вариантите, комбинация от коловоз на горния допуск и колоос с номинален размер и размер на долния допуск. При тях разстоянията $\sigma_f/2$ от челото на реборда на колелото до реборда на релсата са по-малки от $\sigma/2$. Тогава при изместване на колооста в едната посока или лъкатушене, реборда на едното колело откъм неработната му страна ще достига реборда на релсата преди работната страна на реборда на другото колело да достигне страничната стена на главата на другата релса.

3.2. Изследване на нормите за трамвайния релсов път и ходовата част на ТМ чрез критерия „еквивалентна коничност”.

Еквивалентната коничност (1) е равна на тангенсът на ъгъла на разтвора на конуса на колоос с конично разположени колела, чието напречно преместване има същата кинематична дължина на вълната (2) както дадената колоос [4,5].

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

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

Таблица 4.

$2S_{SF}$, mm	Еквивалентна коничност $\tan \gamma_e$					
	Релси S 49			Релси Ni60N		
	$e = 958 - 2 \text{ mm}$	$e = 958 \text{ mm}$	$e = 958 + 2 \text{ mm}$	$e = 958 - 2 \text{ mm}$	$e = 958 \text{ mm}$	$e = 958 + 2 \text{ mm}$
1005	0,0524078	1,87156	4,57231	0,0524079	2,5194000	4,5820900
1006	0,0524078	0,052408	3,80527	0,0524079	0,6974490	3,9692700
1007	0,0524078	0,052408	1,87156	0,0524079	0,0524079	2,5194000
1008	0,0524078	0,052408	0,052408	0,0524079	0,0524079	0,6974490
1009	0,0524078	0,052408	0,052408	0,0524079	0,0524079	0,0524079
1010	0,0524078	0,052408	0,052408	0,0524079	0,0524079	0,0524079
1011	0,0524078	0,052408	0,052408	0,0524079	0,0524079	0,0524079
1012	0,0524078	0,052408	0,052408	0,0524079	0,0524079	0,0524079
1013	0,0524078	0,052408	0,052408	0,0524079	0,0524079	0,0524079
1014	0,0524078	0,052408	0,052408	0,0524079	0,0524079	0,0524079
1015	0,0524078	0,052408	0,052408	0,0524079	0,0524079	0,0524079
1016	0,0524078	0,052408	0,052408	0,0524079	0,0524079	0,0524079
1017	0,0524078	0,052408	0,052408	-	0,0524079	0,0524079
1018	0,0524078	0,052408	0,052408	-	0,0524079	0,0524079
1019	0,0524078	0,052408	0,052408	-	-	0,0524079
1020	0,0524078	0,052408	0,052408	-	-	0,0524079
1021	0,0524078	0,052408	0,052408	-	-	-
1022	0,0524078	0,052408	0,052408	-	-	-

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

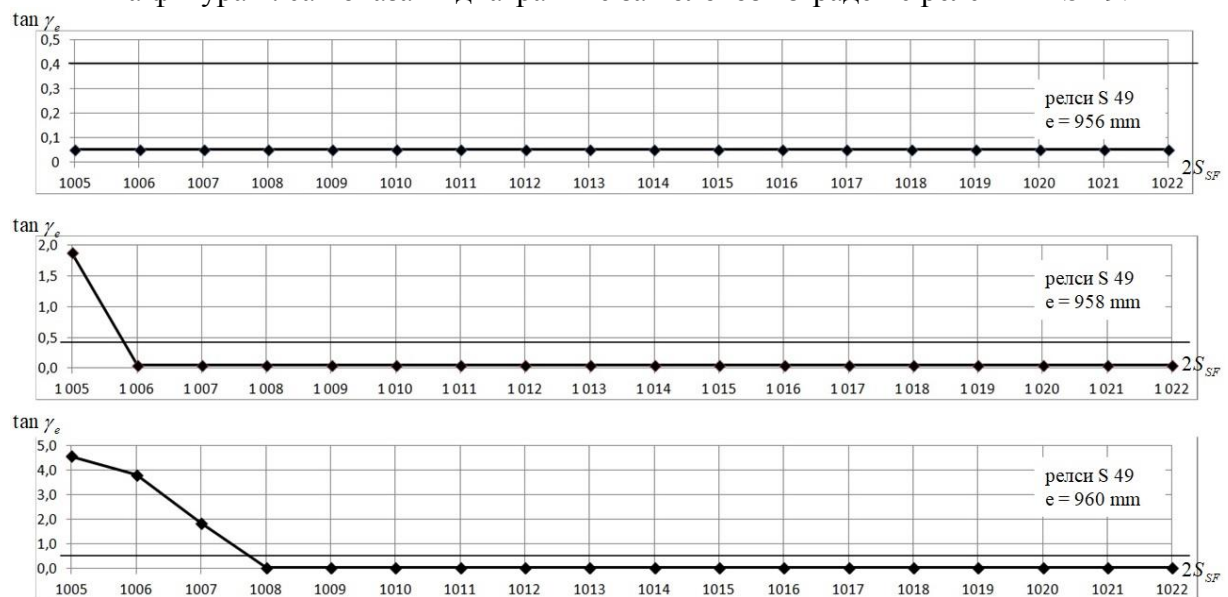
където: γ – наклон на конусната част на колелата.

Еквивалентната коничност е параметър, който се използва при изследване динамично взаимодействие между железопътното превозно средство и коловоза. Параметърът описва поведението на контакта между колела и релси за прави и криви с големи радиуси. Еквивалентната коничност е критерий за стабилността на возилата при движение. Нестабилното движение води до възникването на големи хоризонтални сили между колелата и релсите в комбинация с голямо преместване на релсовия път възниква опасност от дерайлиране [6, 7, 8, 9, 10].

Според стандартите за добро взаимодействие на коловоза и колооста, за тук разглежданите стойности на напречното преместване на колооста $\tan \gamma_e < 0,4$ [11].

В таблица 4. са показани стойностите на еквивалентната коничност за всички размери в допуску на коловоза и номиналния и граничните размери на колооста изчислени по методиката на стандарт EN 15302:2008+A1:2010 [5]. Данните показват, че при долния допуск на коловоза, при двата вида релси, когато колооста е с номинален размер или с размер с положителен допуск еквивалентната коничност има стойности значително надвишаващи 0,4.

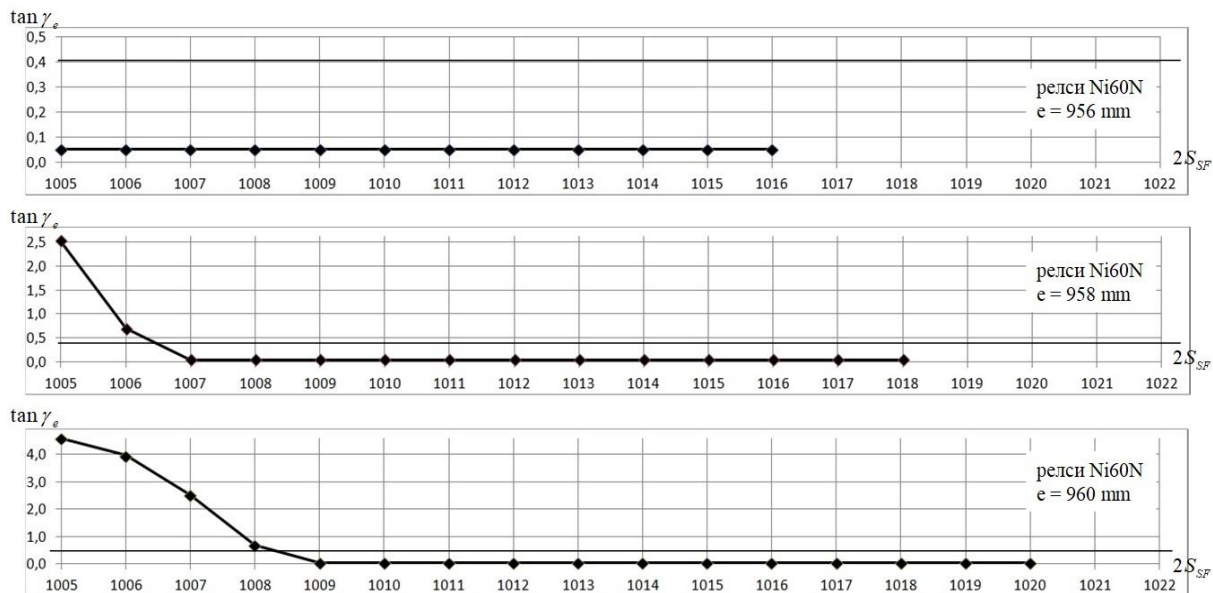
На фигура 4. са показани диаграмите за коловоз изграден с релси тип S 49.



Фиг. 4. Диаграми на еквивалентната коничност при коловоз изграден с релси S 49.

На фигура 5. са показани диаграмите за коловоз изграден с улейни релси тип Ri60N. Тук, при трите случая графиките на еквивалентната коничност не стигат до максималната стойност на междурелсието. Причината за това е по-ранния контакт на реборда на едното колело откъм неработната му страна. Това е преди контакта на работната страна на реборда на другото колело със страничната стена на главата на другата релса.

Резултатите от анализа чрез еквивалентната коничност потвърждават изводите от т. 2.



Фиг. 5. Диаграми на еквивалентната коничност при коловоз изграден с релси R160N.

3.3. Изследване на нормите за трамвайния релсов път и ходовата част на ТМ по нивото на контактна точка.

През 2015 година е докладвано изследване на нормите за ТрРП и ТрПС приравнени по нивото, по което се получава първи контакт на единия реборд със страничната стена на главата на релсата [12]. Резултатите са сходни с тези, получени в т. 3.

Направени са следните препоръки:

1. Да се коригира допустимия минимален размер на дебелината на реборда в контролното сечение като се приеме стойността 13 mm ;
2. Да се намали положителният допуск на коловоза от $+13$ на $+6 \text{ mm}$ като междурелсието за коловоз изграден с улейни релси да се определи на $2S_{SF} = 1009^{+6}_{-4} \text{ mm}$.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

На пръв поглед личи, че в „Правилник с технически изисквания и норми за трамваен релсов път” допуските на междурелсието и страничната хлабина са взети механично от нормите за конвенционалната железница. В него няма уточнения за вида на релсите използвани при изграждането на пътя.

„Правилник за техническата експлоатация на трамваите” е издаден през 1974 година, когато в град София не е имало трамваи за нормално междурелсие. Също така нормите за останалите параметри на ходовата част в него са за трамваен подвижен състав, който вече не е в експлоатация.

Като първо изискване в „Правилник за техническата експлоатация на трамваите” е определено „Глава Втора, Раздел II, т. 259: „Всяка колоос и тележка трябва да отговаря на изискванията на конструктивната документация, инструкцията за ремонт и комплектуване на колоосите и тележките, одобрени от Главния директор на СД „Градски транспорт.”. Същевременно няма текст, който да задължава конструкторите на трамвайни возила да се съобразяват с нормите за пътя въведени със същия Правилник.

Направената съпоставка на нормите за ТрРП и ТрПС показва, че има неблагоприятни и невъзможни комбинации на размерите за коловоза и колоосите. Тези случаи са близо до граничните стойности на допуските. Неблагоприятните комбинации са при размери на коловоза към долния допуск.

Голямо несъответствие има при коловоз изграден с улейни релси. При граничния размер с отрицателен допуск има недостатъчна странична хлабина. Дори при колоос с горен допуск се получава закливане. При доближаване на размера на коловоза към горния допуск и колоос с долен допуск, дори и с номинален размер има пръв контакт на реборда на едното колело откъм неработната му страна преди контакта на работната страна на реборда на другото колело със страничната стена на главата на другата релса.

5. ПРЕПОРЪКИ.

На базата на направените по-горе преглед на нормативните документи, изследване на вариантите на съвместна работа на коловози и колооси съобразени с нормите и заключенията от тях следва да се препоръча синхронизация на правилниците за трамвайния релсов път и ходовата част на трамвайния подвижен състав. Препоръчва се:

1. В действащият „Правилник с технически изисквания и норми за трамваен релсов път” [1] да се въведат различни норми за трамвайния релсов път изграждан с виньолови и улейни релси.
2. Да се изработи нов нормативен документ регламентиращ нормите за ходовата част на трамвайния подвижен състав, който да отмени действието на Раздел II. на Втора глава на „Правилник за техническата експлоатация на трамваите” [2].

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] „Правилник с технически изисквания и норми за трамваен релсов път”, Столична община, СКГТ ЕАД, София, 2000 г.
- [2] „Правилник за техническата експлоатация на трамваите”, СГНС, Техника, 1974 г.
- [3] „Инструкция за колоосите на трамвайните мотриси”, ОбФ „Трамкар – София”, 1994 г.
- [4] UIC 519:2004, Method for determining the equivalent conicity, 2004
- [5] BS EN 15302:2008 + A1:2010, Railway applications - Method for determining the equivalent conicity, 2010
- [6] Atmadzhova D., A Methodology for Determining the Causes of Rolling Stock Derailment Nis, XVII SCIENTIFIC-EXPERT CONFERENCE ON RAILWAYS RAILCON "16, Serbia and Montenegro Faculty of Mechanical Engineering University of Nis, 2016
- [7] Atmadzhova D., Processes and dependencies related to NADAL's FORMULA IX International Scientific Conference HEAVY MACHINERY 2017, Zlatibor, Serbia, 2017, pp.E7-E16
- [8] Атмаджова Д., „Привеждане в номинален вид на критерия против дерайлиране на железопътни возила”, НК с международно участие VulTrans-2017 на ТУ-София, 2017 г.
- [9] Атмаджова Д., „Определяне критерия за дерайлиране на железопътна колоос. Квазистатичен анализ на колоос”, Електронно списание Механика Транспорт Комуникации, 2001, том 3, ID: 579, стр. VI 35-VI 41.
- [10] Атмаджова Д., „Анализ на математически изрази за определяне критерия за дерайлиране на железопътна колоос”, Електронно списание Механика Транспорт Комуникации, 2001, том 3, ID: 580, стр. VI 42-VI 49.
- [11] Жеков В., „Анализ на възможностите за подобряване дълготрайността на конструкцията на градския релсов път”, Дисертация, ВТУ“ Тодор Каблешков“, София, 2018 г.
- [12] Михайлов Е., „Съпоставка на нормите за трамвайна колоос и коловоз с междурелсие 1009 mm, изграден с улейни релси.”, XXII международна научна конференция „Транспорт 2015”, ВТУ, Боровец, 2015 г.

ANALYSIS OF THE NORMS OF THE TRAM RAIL TRACK AND THE TRANSMISSION OF THE TRAMWAY CARS IN THE CITY OF SOFIA

Emil M. Mihaylov, Vladimir Zhekov
emm_1968@abv.bg ; jekov@gbg.bg

*Todor Kableshkov, University of Transport,
158 Geo Milev Street, Sofia 1574,
BULGARIA*

Key words: tramway car, track, norms, tramway rail track, wheelsets

Abstract: This material compares and analyzes the current active norms for the tram rail track and the transmission of the tramway cars operating in the city of Sofia. The study has been conducted in order to find out the reason for the different type and degree of wear on the rails and the tram wheels. Under examination are the regulations defining the requirements for the tramway track and the chassis of the tram. No link has been established with the introduction of various norms. In the material, the norms are compared and an "equivalent conicity" criterion is analyzed, an earlier study of the problem has also been taken into account. The possible nine combinations of the border dimensions of the wheelsets are examined in a section of the track built with grooved and vinyl rails. It has been discovered that in a track built with grooved rails, in two of the cases the wheelset may become jammed. With lower track tolerance and upper wheelset tolerance there is jamming on the working side of the flanges. With upper track tolerance and lower wheelset tolerance, contact of the wheel flange head and the rail flange occurs significantly before reaching the working part of the flange of the other wheel with the rail head. Analysis of the problem through the criterion of "equivalent conicity" indicates that in these variants there is also an unfavorable contact between the track and the wheelset. On the basis of these analyzes, it is recommended to synchronize the regulations for the tramway track and the transmission of the tramway cars.