



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НА ТРАМВАЙНИ КОЛЕЛА С БАНДАЖЕН ПРОФИЛ *RPSf-2018* С ТРАМВАЙНИТЕ КОЛОВОЗИ С ТЯСНО МЕЖДУРЕЛСИЕ В ГРАД СОФИЯ

Емил М. Михайлов¹⁾, Методи Атанасов²⁾, Зорница Евлогиева³⁾
emm_1968@abv.bg, metodi8atanasov@abv.bg, zrukova@abv.bg

¹⁾ „Столичен електротранспорт” ЕАД, София, ул. „Подполковник Калитин” № 30
БЪЛГАРИЯ

²⁾ НК „Железопътна инфраструктура”, София, бул. „Княгиня Мария Луиза“ № 110
БЪЛГАРИЯ

³⁾ „Столичен електротранспорт” ЕАД, под. „Трансенерго и РП”,
София, ул. „Козлодуй” № 16,
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: Трамвайна мотриси, бандажен профил, релси, коловоз

Резюме: Тази статия разглежда работата на трамвайните колела с бандажен профил *RPSf-2018* по коловози с тясно междурелсие, изградени с релси типове *S49* и *Ri60N*. Този профил е въведен през 2018 година. Характерното за него са двете закръгления по търкалящата повърхност, разделени от участък успореден на хоризонталната ос. Т.е. има част от търкалящата повърхност, която е цилиндрична. Въведенният профил заменя използвания до тогава *T81* с изцяло конусна търкаляща повърхност с наклон 1:20. Предвидени са и фамилия от профили, които да се прилагат при репрофилиране на бандажите. Повод за изследването са сведения за неравномерно износване, оформяне на нежелани и вредни изменения на бандажите. Разглеждат се положението на съосие на колооста и коловоза и положенията на двуточков контакт с едната релса на номиналния профил и фамилията профили с коловози с нови релси и релси с обичайното износване. Установено е, че търкалянето на колелата става по закръглеността с *R300*, в частта му в близост до хоризонталния участък. При двуточков контакт на едното колело търкалянето му става по окръжност много близка до цилиндричната част на бандажа. Тогава другото колело се търкаля по закръглеността с *R300* по окръжност отдалечена от цилиндричния участък, т.е. по окръжност на търкаляне с по-малък диаметър. Това не дава възможност за компенсиране на изместването.

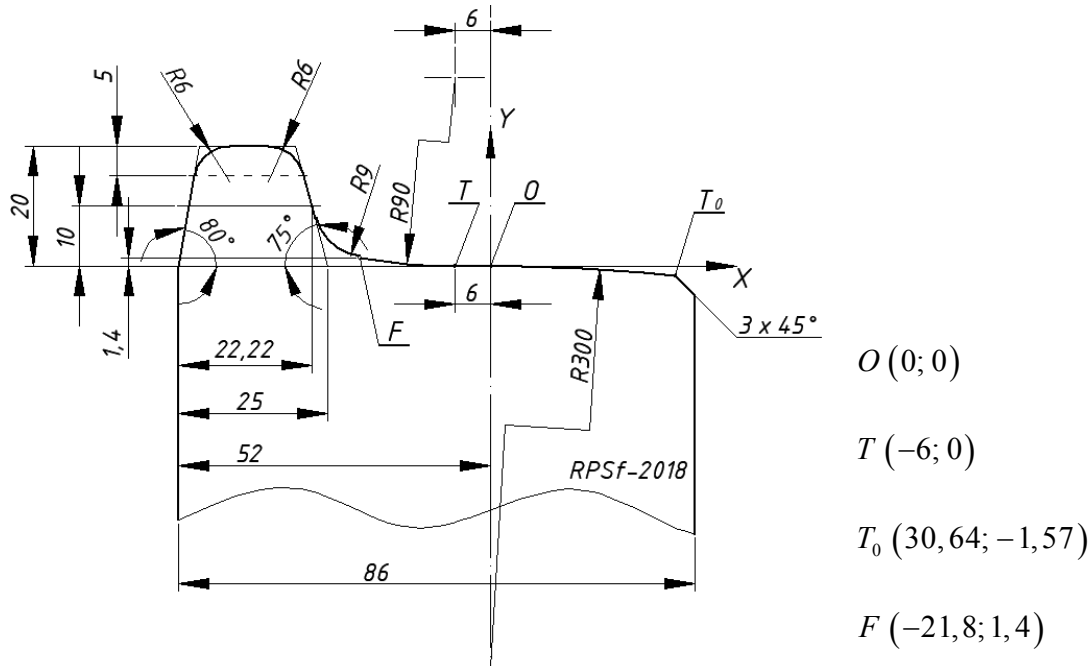
1. УВОД

През 2018 година със Заповед № 03-154/02.07.2018 г. на Изпълнителния Директор на „Столичен електротранспорт” ЕАД [1] се въвежда нов профил на бандажите на трамвайните колела. Този профил тук ще се записва „*RPSf-2018*”, съкращение на „*Rota Profile Sofia – 2018 година*”.

Повод за изследването са сведения за неравномерно износване, оформяне на нежелани и вредни профили на бандажите.

2. ОПИСАНИЕ НА ПРОФИЛ *RPSf-2018*

При разработването на *RPSf-2018* (фиг. 1.) са определени основни изходни параметри: теоретичен кръг на търкаляне на разстояние 52 mm от вътрешната челна повърхнина на бандажа и координатна система O, x, y с начало т. O , намираща се по теоретичния кръг на търкаляне. Профилът има две части: реборд и повърхнина на търкаляне.



Фиг. 1. Геометрични характеристики на *RPSf-2018*.

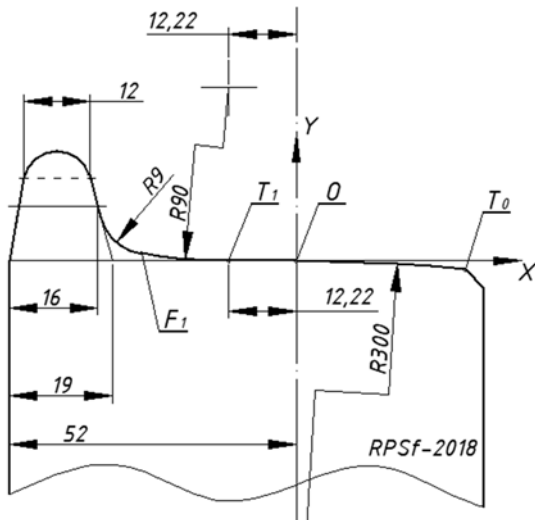
Ребордът е с височина 20 mm мерени от оста X . Вътрешната челна повърхнина е с наклон 80° към оста X , а работната повърхнина с наклон 75° . Върхът на реборда е права линия успоредна на оста X , като закръгленията към челната и работната повърхнини са с $R6$. За контрол на дебелината на реборда е определено сечение, успоредно на оста X и намиращо се на 10 mm от нея. Дебелината на реборда по контролното сечение е $22,22\text{ mm}$. Определената минимална дебелина на реборда (фиг. 2.) е 16 mm . Преходният участък между реборда и повърхнината на търкаляне е закръгление с $R9$.

Повърхнината на търкаляне се състои от три участъка: закръгление с $R90$, закръгление с $R300$ и между тях участък успореден на оста X . Към външната челна повърхнина има фаска $3 \times 45^\circ$. По повърхнината на търкаляне има определени контролни точки (фиг. 1.): т. T_0 - край на повърхнината; т. O - преходна между участъка с $R300$ и хоризонталния участък; т. T - преходна между хоризонталния участък и участъка с $R90$; т. F - преходна между участъка с $R90$ и преходната крива към реборда. Координатите на точките са показани на фигура 1. Закръглението с $R300$ започва от т. O и свършва при т. T_0 . Центърът на закръглението лежи на оста Y . Участъкът успореден на оста X е между т. O и т. T и е с дължина 6 mm . Закръглението с $R90$ започва от т. T и свършва при т. F . Центърът на закръглението е на 6 mm от оста Y .

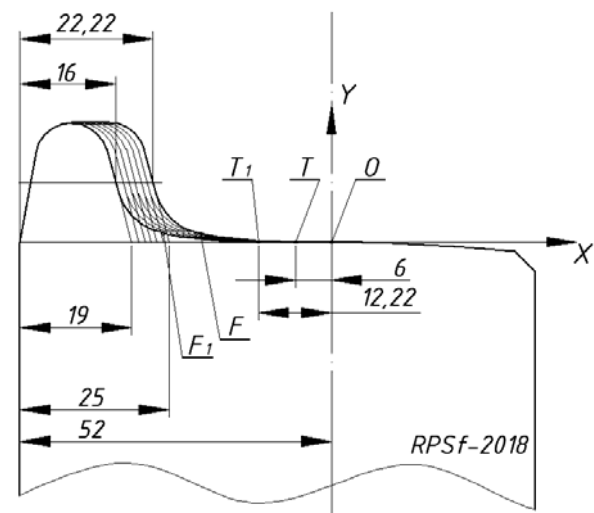
При профилиране на бандажа до минималния размер на реборда (фиг. 2.) е предвидено т. T и т. F да се преместят до положенията им в т.т. T_1 и F_1 . Това води до удължаване на хоризонталният участък до $12,22\text{ mm}$.

При предвидената минимална дебелина на реборда в контролното сечение, дебелината в сечението на 5 mm от върха му е 12 mm . Установената в „Правилник за техни-

чешката експлоатация на трамваите” [2] минимална дебелина на реборда в сечението на 5 mm от върха му е 8 mm.



Фиг. 2. Минимални размери на RPSf-2018.



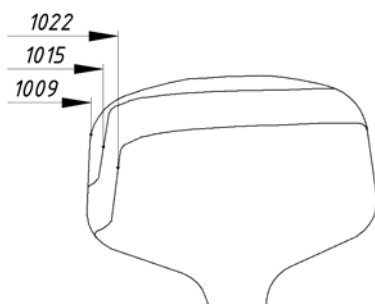
Фиг. 3. Фамилия профили на RPSf-2018.

Предвидени са фамилия от профили (фиг. 3.), които са междинни и се получават след измерване на бандажите преди репрофилиране.

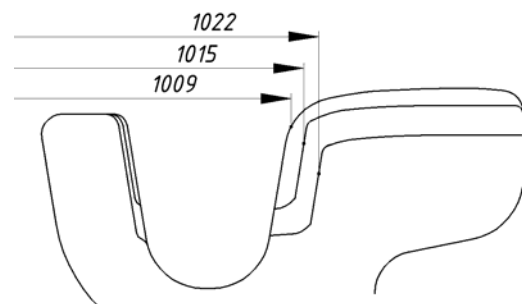
3. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Определяне на контактните зони на колелата с релсите е направено като са изследвани положенията на колооста когато са съосни с коловоза и когато дясното колело на колооста има двуточков контакт с релсата. Това е направено за 7 от фамилията профили: за номиналния профил и 6 след репрофилиране със стъпка 3 mm по търкалящата повърхност и 1 mm изтъняване на реборда откъм работната му страна.

Търсени са контактните точки на колооста с коловози, изградени с релси типове S49 (фиг. 4.) и Ri60N (фиг. 5.). Определени са контактните точки с нови релси и номинално междурелсие на коловоза – 1009 mm. Разгледани са два варианта с износени релси: коловоз с най-често срещаното междурелсие – 1015 mm и коловоз с износени релси и максимално междурелсие – 1022 mm.



Фиг. 4. Нова и износена релса S49.



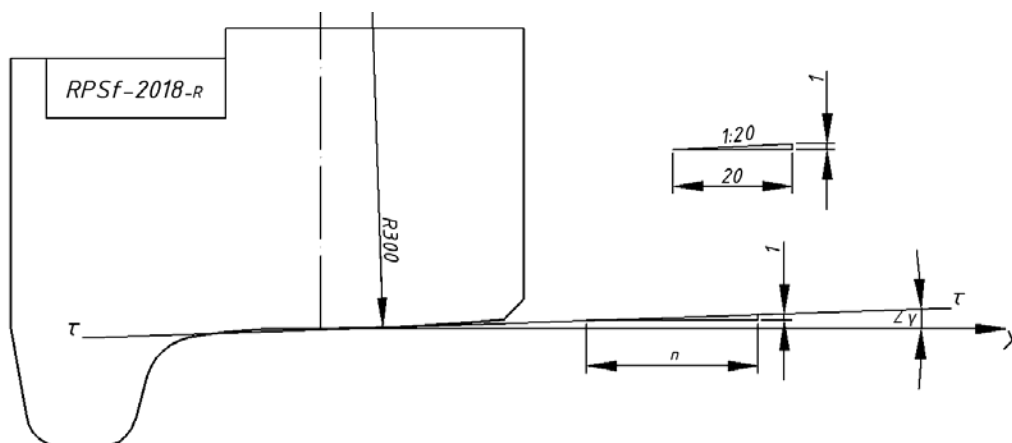
Фиг. 5. Нова и износена релса Ri60N.

Показаните на фигурите профили на релси с различна степен на износване са резултат на наблюдения и проучвания върху трамвайния релсов път в София [3, 4, 5].

Контактните точки на лявото колело са именувани с „S”, съответно на дясното с „D”. Индексите са: за съосното положение – „с”, за номиналния профил – „0” и с „-1”, „-2”, ..., „-6” за всеки следващ профил след репрофилиране. Контактните точки на реборда със стената на главата на релсата са именувани с „K” и съответните индекси.

През всяка получена точка е построена допирателна τ към закръгления с R300 mm и са определени ъгъла γ и наклона на тангентата към хоризонталната ос (фиг. 6.).

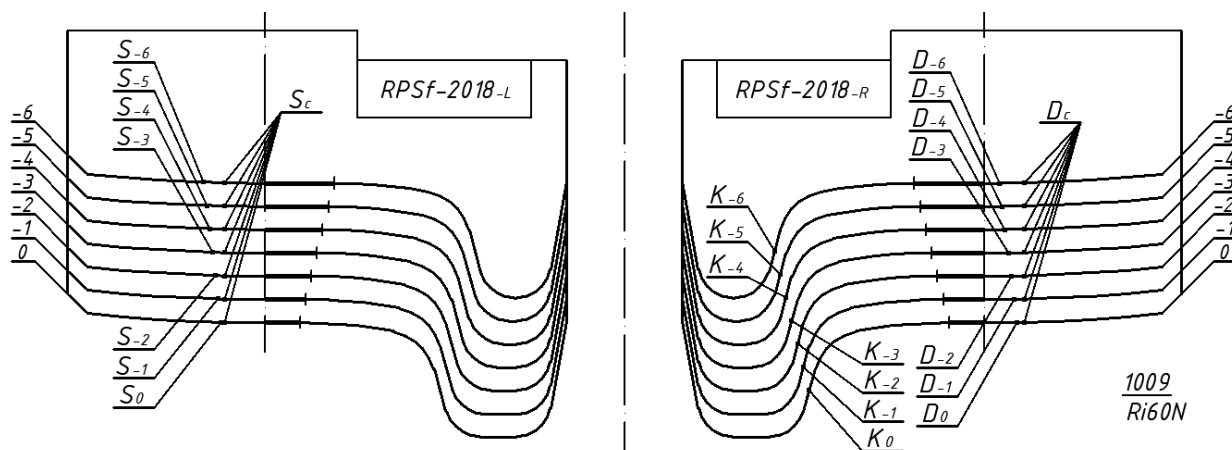
На фигурите показващи контактните точки с по-дебела линия и е показан участък успореден на оста X .



Фиг. 6. Определяне на наклона на тангентата към хоризонталната ос.

4. РАБОТА НА RPSf-2018 ПО КОЛОВОЗИ С НОМИНАЛНО МЕЖДУРЕЛСИЕ

На фигура 7. са показани контактните точки на фамилията профили RPSf-2018 с коловоз с междурелсие 1009 mm, изграден с релси тип Ri60N в прав участък от пътя.



Фиг. 7. Контактни точки при коловози с междурелсие 1009 mm, изградени с релси тип Ri60N.

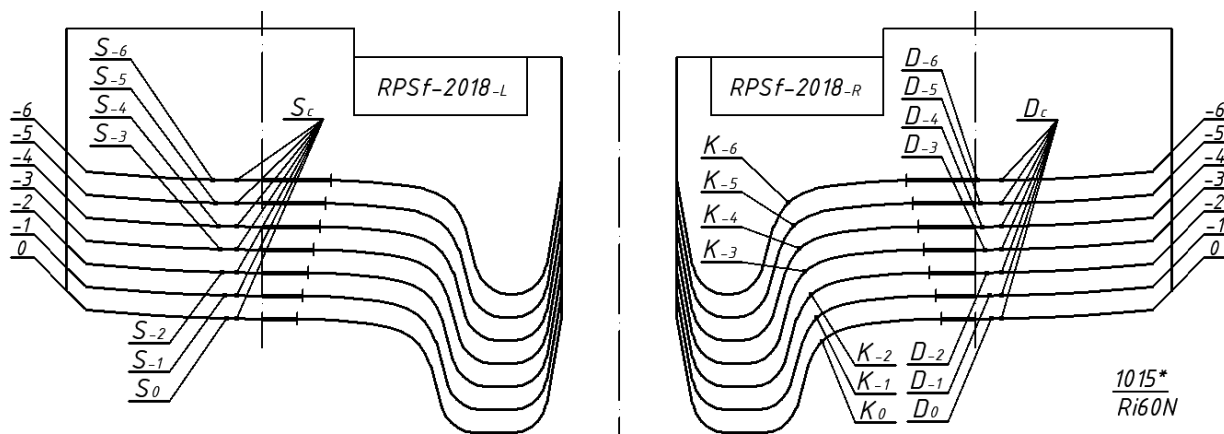
Получените стойности на ъгълът γ на тангентата към хоризонталната ос и съотношението $1 : n$ са нанесени в Таблица 1.

Таблица 1.

номинално междурелсие 1009 mm									
релси тип S49					релси тип Ri60N				
	ляво колело		дясно колело			ляво колело		дясно колело	
	γ , deg	1 : n	γ , deg	1 : n		γ , deg	1 : n	γ , deg	1 : n
c	1,9938	1 : 28,7253	1,9938	1 : 28,7253	c	1,3299	1 : 43,0743	1,3299	1 : 43,0743
0	2,4153	1 : 23,7075	1,5709	1 : 36,4647	0	1,4438	1 : 39,6759	1,0788	1 : 53,1035
-1	2,5131	1 : 22,7842	1,4731	1 : 38,8852	-1	1,5384	1 : 37,2340	0,9815	1 : 58,3701
-2	2,6112	1 : 21,9267	1,3751	1 : 41,6584	-2	1,6355	1 : 35,0227	0,8844	1 : 64,7771
-3	2,7089	1 : 21,1347	1,2775	1 : 44,8434	-3	1,7322	1 : 33,0669	0,7878	1 : 72,7245
-4	2,8068	1 : 20,3969	1,1797	1 : 48,5613	-4	1,8292	1 : 31,3119	0,6908	1 : 82,9358
-5	2,9047	1 : 19,7084	1,0514	1 : 54,4881	-5	1,9260	1 : 29,7368	0,5940	1 : 96,4519
-6	3,0024	1 : 19,0657	0,8599	1 : 66,6240	-6	2,0229	1 : 28,3112	0,4972	1 : 115,2357

5. РАБОТА НА RPSf-2018 ПО КОЛОВОЗИ С УСРЕДНЕНО МЕЖДУРЕЛСИЕ

На фигура 8. са показани контактните точки на фамилията профили RPSf-2018 с коловоз с междурелсие 1015 mm, изграден с релси тип Ri60N в прав участък от пътя.



Фиг. 8. Контактни точки при коловози с междурелсие 1015 mm, изградени с релси тип Ri60N.

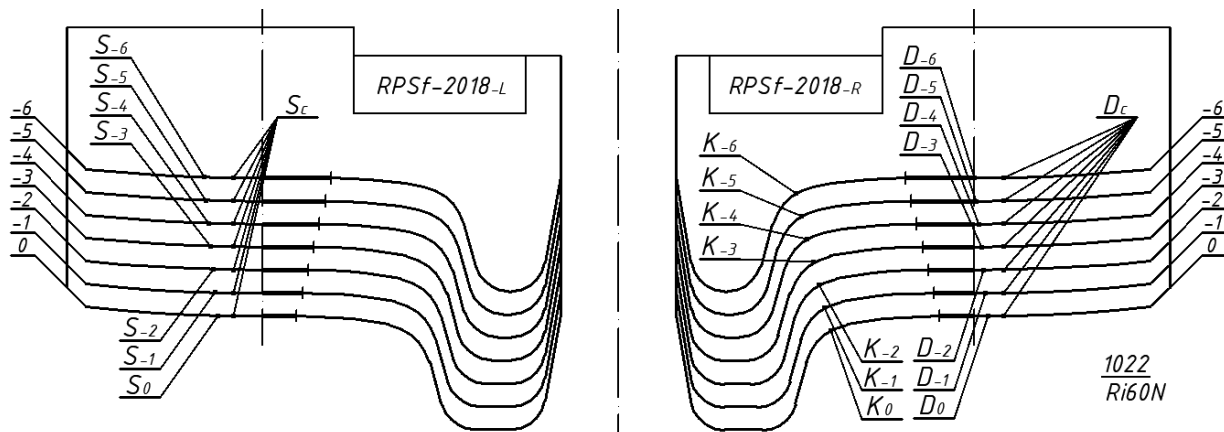
Получените стойности на ъгълът γ на тангентата към хоризонталната ос и съотношението 1 : n са нанесени в Таблица 2.

Таблица 2.

усреднено междурелсие 1015* mm									
релси тип S49					релси тип Ri60N				
	ляво колело		дясно колело			ляво колело		дясно колело	
	γ , deg	1 : n	γ , deg	1 : n		γ , deg	1 : n	γ , deg	1 : n
c	1,7543	1 : 32,6508	1,7543	1 : 32,6508	c	0,8460	1 : 67,7245	0,8460	1 : 67,7245
0	2,1346	1 : 26,8288	1,3610	1 : 42,0893	0	1,1838	1 : 48,3934	0,5081	1 : 112,7613
-1	2,2032	1 : 25,9924	1,2925	1 : 44,3227	-1	1,2576	1 : 45,5507	0,4343	1 : 131,9204
-2	2,2766	1 : 25,1544	1,2192	1 : 46,9871	-2	1,3357	1 : 42,8873	0,3562	1 : 160,8307
-3	2,3467	1 : 24,4022	1,1491	1 : 49,8567	-3	1,4065	1 : 40,7291	0,2856	1 : 200,5810
-4	2,4171	1 : 23,6898	1,0787	1 : 53,1112	-4	1,4830	1 : 38,6255	0,2091	1 : 274,0317
-5	2,4895	1 : 23,0003	1,0063	1 : 56,9313	-5	1,5627	1 : 36,6562	0,1294	1 : 442,8983
-6	2,5527	1 : 22,4300	0,9435	1 : 60,7208	-6	1,6382	1 : 34,9646	0,0538	1 : 1064,0597

6. РАБОТА НА RPSf-2018 ПО КОЛОВОЗИ С МАКСИМАЛНО МЕЖДУРЕЛСИЕ

На фигура 9. са показани контактните точки на фамилията профили RPSf-2018 с коловоз с междурелсие 1022 mm, изграден с релси тип Ri60N в прав участък от пътя.



Фиг. 9. Контактни точки при коловози с междурелсие 1022 mm, изградени с релси тип Ri60N.

Получените стойности на ъгълът γ на тангентата към хоризонталната ос и съотношението $1 : n$ са нанесени в Таблица 3.

Таблица 3.

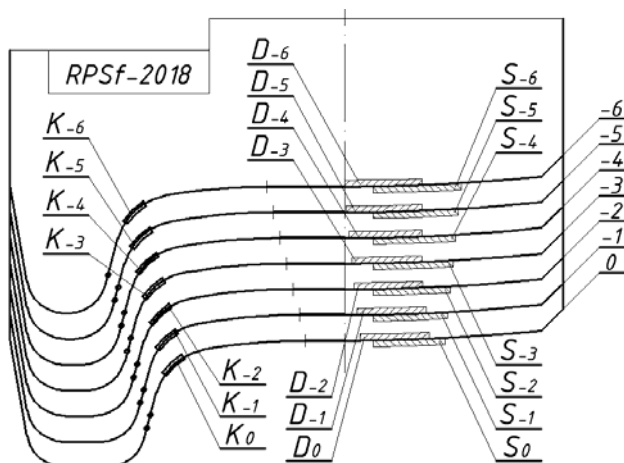
междурелсие с максимален допуск 1022 mm									
релси тип S49					релси тип Ri60N				
	ляво колело		дясно колело			ляво колело		дясно колело	
	γ , deg	1 : n	γ , deg	1 : n		γ , deg	1 : n	γ , deg	1 : n
<i>c</i>	2,3026	1 : 24,8695	2,3026	1 : 24,8695	<i>c</i>	0,9679	1 : 59,1899	0,9679	1 : 59,1899
<i>0</i>	2,9821	1 : 19,1961	2,5187	1 : 22,7335	<i>0</i>	1,4837	1 : 38,6086	0,4522	1 : 126,6988
<i>-1</i>	3,0621	1 : 18,6937	2,4244	1 : 23,6190	<i>-1</i>	1,5616	1 : 36,6816	0,3744	1 : 153,0517
<i>-2</i>	3,1493	1 : 18,1749	2,3221	1 : 24,6609	<i>-2</i>	1,6370	1 : 34,9916	0,2990	1 : 191,6413
<i>-3</i>	3,2198	1 : 17,7762	2,2384	1 : 25,5842	<i>-3</i>	1,7086	1 : 33,5243	0,2275	1 : 251,8694
<i>-4</i>	3,3000	1 : 17,3430	2,1437	1 : 26,7147	<i>-4</i>	1,7886	1 : 32,0228	0,1474	1 : 388,7781
<i>-5</i>	3,3800	1 : 16,9318	2,0499	1 : 27,9389	<i>-5</i>	1,8790	1 : 30,4821	0,0571	1 : 1004,0769
<i>-6</i>	3,4716	1 : 16,4838	1,9467	1 : 29,4210	<i>-6</i>	1,9411	1 : 29,5060	0,0000	1 : ∞

7. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

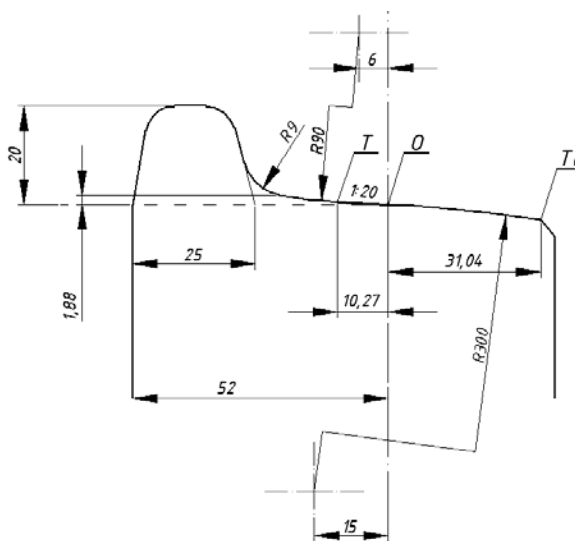
При движение по прав хоризонтален път в следствие на наклона на търкалящата повърхност на бандажите, придаваща им конична или близка до нея форма, колооста се стреми да се върне в средното си положение. Това е в резултат на хоризонталната компонента на вертикалната сила.

Прегледът на бандажните профили използвани в други трамвайни администрации в Европа и Северна Америка [6] показва, че има голямо разнообразие. От изцяло конична форма до профили с поредица от закръгления с различен радиус. Като цяло, обаче, всички те имат наклон на повърхнината на търкаляне от порядъка на 1:10 и 1:20. В различни методически ръководства се препоръчват профили, които имат тези характеристики [6, 7].

На фигурите по-горе са показани контактните точки на *RPSf-2018* с коловози изградени с улейни релси Ri60N, тъй като в тези случаи има по-неблагоприятни стойности на ъгъла γ на съотношението $1 : n$. В таблиците са нанесени всички данни получени при изследването.



Фиг. 10. Контактни зони на *RPSf-2018* с различните варианти на коловозите.



Фиг. 11. Възможен вариант за изменение на на *RPSf-2018*.

На фигура 10. са показани контактните зони на търкалящата повърхност на бандажа при изместване на колооста между двете ѝ крайни положения. Тези зони изцяло

са по закръглението с $R300\text{ mm}$ в частта му в близост до цилиндричната част от профила. Т.е. в контактните зони допирателната права е с много малък наклон спрямо хоризонталната ос. Това означава, че при колелото с двуточков контакт хоризонталната компонента на вертикалната сила е с много малка големина и клони към нула. В същото време на другото колело контактната точка е по-далече от цилиндричния участък и то се търкаля по кръг на търкаляне с по-малък диаметър. Това прави хоризонталната компонента по-голяма и тя се стреми да задържи колооста изместена към колелото с двуточков контакт. В резултат и двата бандажа започват да се износват неравномерно, като се оформят нежелани и вредни профили.

Същевременно при износени релси с вътрешния си ръб главата на релсата контактува зоната с $R9\text{ mm}$ в основата на реборда. Това води до износване на основата му и изтъняването ѝ, което от своя страна налага отнемане на повече материал при репрофилиране на бандажа и намаляване на ресурса.

На фигура 11. е показан примерен профил, при който хоризонталния участък на *RPSf-2018* има наклон 1:20 и центъра на закръглението с $R300\text{ mm}$ е изместен с 15 mm от теоретичния кръг на търкаляне към вътрешната челна повърхнина на бандажа. Така се спазва препоръката за форма на търкалящата повърхност близка до конусната. Като резултат от това хоризонталната компонента на вертикалната сила би имала необходимата големина за центроване на колооста.

Възможни са други варианти за изменение на бандажния профил като се варира с наклона на правия участък и/или със закръглението към външната част на профила. С цел да се увеличи или намали общия наклон на търкалящата повърхност. Например: На правия участък да се зададе наклон от 1:10 до 1:30. Или при закръглението към външната част на профила да се комбинират с друг радиус или изместване на центъра му.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направените пресмятания и геометрични проверки показват, че въведения през 2018 година профил *RPSf-2018* има недостатъчен наклон на търкалящата повърхност в зоните на контакт. Това влошава възможността за самонагаждане на колооста към съосие с коловоза в правите участъци от пътя. Това може да обясни неравномерното износване и нежеланите и опасни профили получавани по време на експлоатация.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] „Столичен електротранспорт” ЕАД, Заповед № 03-154/02.07.2018 г.
- [2] „Правилник за техническата експлоатация на трамваите”, СГНС, Техника, 1974 г.
- [3] Жеков В., Иванова М., „Анализ на състоянието и проблемите на трамвайния релсов път в град София.”, XXI МНК „Транспорт 2013”, ВТУ „Т. Каблешков”, Варна, 2013
- [4] Zhekov V, Iontchev E., „Assessment of the urban rail network based on the acceleration in axle box of the tram”, The 5th Multidisciplinary Academic Conference in Prague 2015, Czech Republic, 2015
- [5] Жеков В., „Норми за проектиране на градски релсов път.”, МНФ „Техника и строителни технологии в транспорта – 2014”, ВТУ „Т. Каблешков”, Велинград, 2014 г.
- [6] TCRP Rpt 57, Track Design Handbook for Light Rail Transit, National Academy Press, Washington, D.C. 2000.
- [7] Simon Iwnicki, „Handbook of Railway Vehicle Dynamics”, Taylor & Francis Group, LLC, 2006 г.

INTERACTION OF THE RPSf-2018 WHEEL PROFILE WITH THE NARROW GAUGE TRAM TRACKS IN THE CITY OF SOFIA

Emil M. Mihaylov¹, Metodi Atanasov², Zornitsa Evlogieva³
emm_1968@abv.bg, metodi8atanasov@abv.bg, zrukova@abv.bg

¹⁾ *Sofia Public Electrical Transport Company JSC,
30 Lieutenant Colonel Kalitin str., Sofia,
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

²⁾ *National Railway Infrastructure Company,
110 Knyaginya Mariya Luiza bld., Sofia,
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

³⁾ *Sofia Public Electrical Transport Company JSC,
Transenergo and Railsroad Department, 16 Kozloduy str., Sofia,
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Key words: *Trams, wheel profile, rails, track.*

Abstract: *This paper examines the operation of tram wheels with a wheel profile RPSf-2018 on narrow gauge tracks built with S49 and Ri60N rails. This profile was introduced in 2018. It is characterized by two rounding's on the rolling surface, separated by a section parallel to the horizontal axis. I.e. there is a part of the rolling surface that is cylindrical. The introduced profile replaces the previously used T81 with a fully conical rolling surface with a slope of 1:20. There is also a family of profiles to be used when reprofiling the bandages. The reason for the research is information about uneven wear, formation of unwanted and harmful changes in the rims. The position of the axle and track alignment and the positions of two-point contact with one rail of the nominal profile and the family of track profiles with new rails and rails with normal wear are considered. It was found that the rolling of the wheels takes place on the curve with R300, in its part near the horizontal section. In case of two-point contact of one wheel, its rolling takes place in a circle very close to the cylindrical part of the tire. Then the other wheel rolls on the roundabout with R300 in a circle away from the cylindrical section, i.e. on a rolling circle with a smaller diameter. This does not allow for offset compensation.*