

## ИЗНОСВАНЕ НА НЕРАБОТНАТА СТРАНА НА РЕБОРДИТЕ НА ТРАМВАЙНИТЕ КОЛЕЛА ПРИ ДВИЖЕНИЕ ПО КОЛОВОЗ ИЗГРАДЕН С УЛЕЙНИ РЕЛСИ

Емил М. Михайлов, Добринка Атнаджова

[emm\\_1968@abv.bg](mailto:emm_1968@abv.bg) ; [atmadzhova@abv.bg](mailto:atmadzhova@abv.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”, ул. „Гео Милев”158, София 1574,  
катедра „Транспортна техника”,  
БЪЛГАРИЯ*

*Ключови думи:* трамвайна мотриси, коловоз, реборд, норми, улейни релси

*Резюме:* Настоящият материал се отнася за трамвайните мотриси работещи в град София. Разглежда се проблемът с износването на неработната страна на ребордите на колелата, което е характерно за почти всички колооси. Износването е в резултат на продължително контактуване на неработната страна на реборда на колелото с реборда на релсата. В докладът се разглеждат различни комбинации от неблагоприятни фактори водещи до контакт на не неработната страна на реборда с реборда на релсата. Предимно това става в криви с малки радиуси. Макар, че има условия явлението да се получава и в прави участъци. При разглеждането на проблема е взето под внимание и състоянието на трамвайния релсов път. Наблюденията сочат, че по-интензивно износване на неработната страна на ребордите има при мотрисите движещи се по маршрути, където състоянието на пътя не е добро. Обстойно е разгледан случаят на преминаване на трамвайните мотриси през обръщателните колела в краищата на маршрутите. Там направляващата сила се разпределя в различна степен между двете колела на атакуващата колоос. Има случаи, при които атакуващата сила се реализира изцяло от вътрешното за кривата колело, т.е. неработната страна на реборда става работна при движението в обръщателното ухо.

### 1. УВОД.

Износването на неработната (челна) страна на ребордите се наблюдава при всички трамвайни мотриси в парка на „Столичен електротранспорт” ЕАД. Наблюденията показват, че при работа на нова колоос първото износване на реборда е двустранно и се характеризира с „изостряне” на ръбовете, т.е. закръгленията на ръбовете на реборда от  $R = 6 \text{ mm}$  стават с радиуси в от порядъка на  $1 - 2 \text{ mm}$  (фиг. 1.). Появява се след изминаване на сравнително малък пробег при ребордите на двете колела на една колоос, така и в комбинация с почти всички други начини на износване на бандажите.

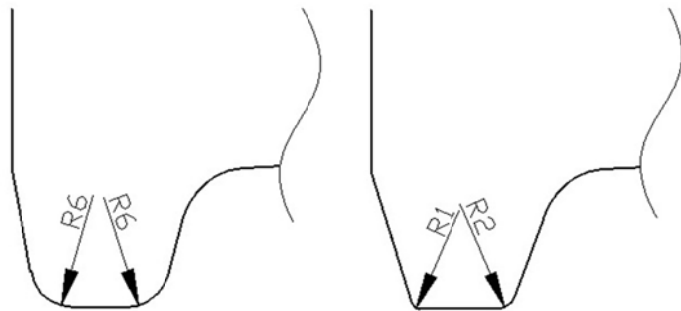
Контактуването на челото на реборда на вътрешното колело на атакуващата колоос и реборда на релсата в крива е нормално за коловоз изграден с улейни релси [1]. Такъв контакт е възможен и при втората колоос на талигата в положенията на максимално изместване и максимално прекосяване.

Изследванията на причините за неравномерно износване на колелата на трамвайните талиги Т 81 [2] показва, че интензивно износване на челната страна на ребордите има при работата на колоос с големи разлики в диаметрите на колелата. Тогава износването начелото на реборда е при колелото с по-голям диаметър. Но за да се стигне до там трябва да се измине голям пробег без да се уеднаквяват диаметрите и да се възстановява бандажния профил.

Съпоставката на нормите за трамвайния релсов път и нормите за ходовата част [3] показва, че при движение по коловоз изграден с улейни релси вероятността за дълготраен контакт на челната страна на реборда и реборда на релсата е висока дори в прав участък от пътя.



Снимка 1. „Високо“ износване на реборда (ляво) и начално (дясно).

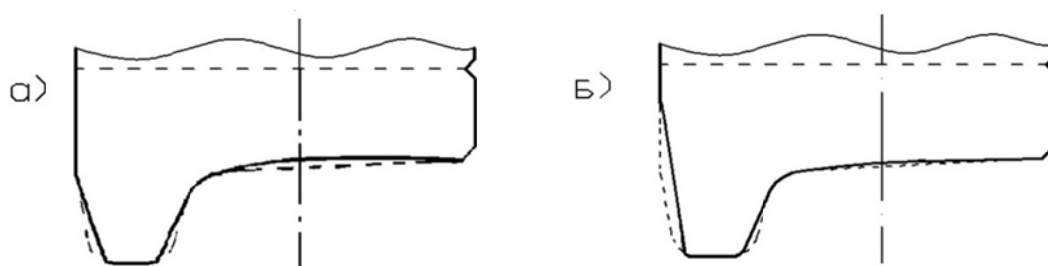


Фиг. 1. Профил на реборд при нов бандаж (ляво) и профил на реборд с начално износване (дясно).

Съществува един начин на износване на неработната страна на ребордите на колелата, който не може да се обясни с горните причини. Това е износване на ребордите на трамвайните колела, което освен неработната им страна обхваща и част от челото на бандажите (сн. 1.). Може да бъде наречено „високо“ износване, тъй като надхвърля основния ръб реборда и нарушава челната повърхнина на бандажите.

## 2. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА.

На фигура 2. са показани профил на бандаж с нормално износване (фиг. 2.а) и бандаж с „високо“ износване на челото на реборда (фиг. 2.б).

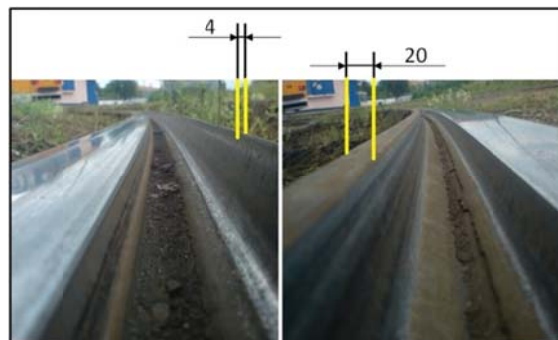


Фиг. 2. Нормално и „високо“ износване на неработната страна на ребордите.

„Високото“ износване се наблюдава предимно, но не само, при мотрисите, работещи по линии, чиито маршрути са по трасета в лошо и задоволително състояние и „въртят“ на обръщателни колела със силно износени релси (сн. 2.).

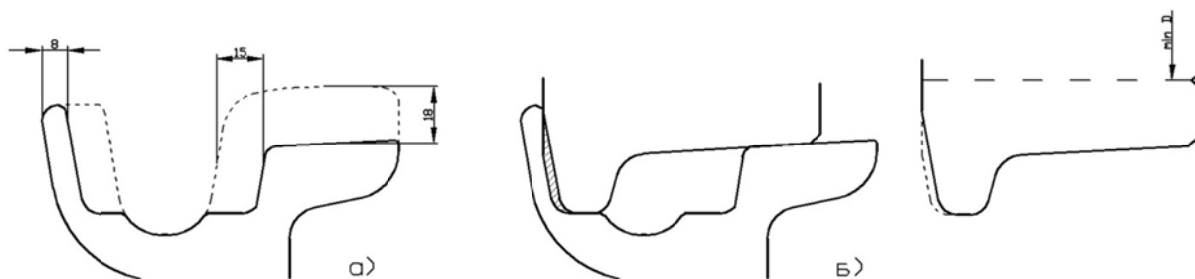


Фиг. 3. Контактни повърхности на реборда на колелото и реборда на релсата .



Снимка 2. Износване на реборда на лявата релса в обръщателно колело „Илиянци”.

Нормите [4] за пределно комбинирано износване на главата на релсата на улейните релси (фиг. 4.а) са: вертикално  $18\text{ mm}$  и странично  $15\text{ mm}$ , а за реборда на релсата е определена минимална дебелина  $8\text{ mm}$ . Така при масово използваните в София улейни релси Ri60N ширината на улея става около  $60\text{ mm}$ .



Фиг. 4. Максимално износване на релси Ri60N и контакт на износена релса с бандажен профил Т 81.

Очевидно реборда на релсата има само странично износване и неговата височина се запазва непроменена. Тогава при контактуване на реборда на релсата с неработната страна на реборда на колелото (фиг. 4.б) износването на бандажа ще бъде „високо”.

При износване на главата на релсите в двете посоки близо до допустимите стойности и размер на междурелсието с горно отклонение в прав участък на пътя има почти постоянен контакт с челото на реборда на едното колело с реборда на релсата. Това може да се дължи на лъкатушене на талигата, шахматно пропадане на пътя, различно натоварване на левите и десните колела, различни диаметри на колелата на една колоосили комбинации от тях.

На фигура 3. са показани наклоните на повърхнините, с които контактуват реборда на колелото и реборда и главата на релсата, спрямо хоризонталната равнина. Работната страна на реборда и вътрешната стена на главата на релсата имат разлика около  $5^\circ - 6^\circ$ . Неработната страна на реборда на колелото и реборда на релсата са с разлика около  $1^\circ$ . Малката разлика благоприятства по-бързото „сработване” на повърхнините и поради по-голямата твърдост на релсата – по-бързо износване на реборда на колелото.

Според нормите за трамваен релсов път [4] междурелсието в криви  $sR < 70\text{ m}$  се допълва с уширение  $\Delta c = (0 \div 7)\text{ mm}$ . В крива с  $R = 20 \div 24\text{ m}$  уширението е  $\Delta c = 7\text{ mm}$ . Т.е. за междурелсие  $1009\text{ mm}$  при максимално положително отклонение ( $13\text{ mm}$ ) и добавено уширение междурелсието става:  $2S_{sy} + 13 + \Delta c = 1029\text{ mm}$ .

При комбинация от максимално междурелсие в крива и колоос с номинални размери или с начално износване на работната страна на ребордите до контакт на челото на реборда на вътрешното колело с релсата има веднага след навлизане в кривата.

„Високото” износване нарушава челната повърхнина на бандажите и затруднява измерването на междубандажното разстояние, което е основен контролен размер на колооста.

### **3. КОНТАКТ НА НЕРАБОТНАТА СТРАНА НА РЕБОРДА НА НОВО ТРАМВАЙНО КОЛЕЛО И РЕБОРДА НА НОВА УЛЕЙНА РЕЛСА.**

Контактът между неработната страна на реборда на ново трамвайно колело и реборда на нова улейна релса е сходен с контакта между тях в работната им част.

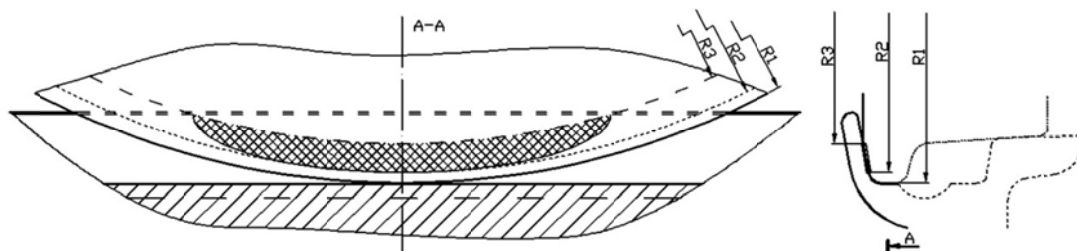
В прав участък от пътя достигайки до контакт при изброените в т. 2. случаи колелото и реборда на релсата контактните точки са по горния ръб при закръглението на реборда – R2 на фиг. 5. В крива, когато вътрешното колело се явява атакуващо точката на контакт също е по R2 на реборда и вътрешния ръб на улея на релсата под закръглението.

При нови колела и нови улейни релси, независимо от вида на пътя не се достига до контакт с реборда на релсата на основния ръб на реборда на колелото. Тогава износването на реборда на колелото е както е показано на фигура 1.

### **4. КОНТАКТ НА НЕРАБОТНАТА СТРАНА НА РЕБОРДА НА ТРАМВАЙНО КОЛЕЛО И РЕБОРДА НА ИЗНОСЕНА УЛЕЙНА РЕЛСА В ПРАВ УЧАСТЪК ОТ ПЪТЯ.**

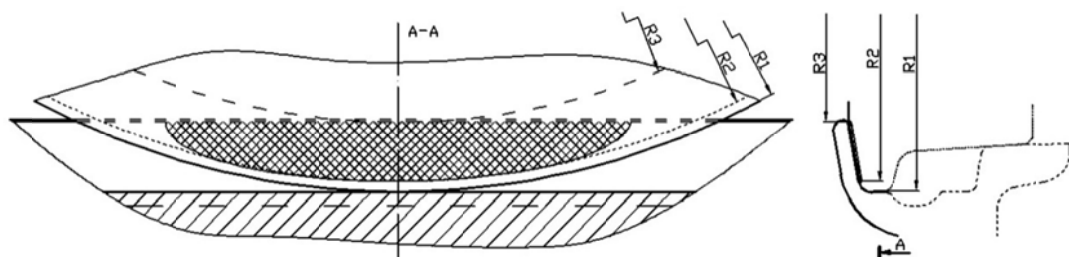
При движение на трамвайната мотриси в прав участък от пътя с гранично износени релси когато има едновременно един или повече от следните фактори: колелоза с положително отклонение, шахматно пропадане на пътя, различно натоварване на левите и десните колела, различни диаметри на колелата на една и съща колоос съществува дълготраен контакт между неработната страна на реборда и реборда на релсата.

На фигура 5. е показано контактното петно на реборда на колело с начално износване на реборда и реборд на износена релсата. Петното покрива почти цялата повърхност на челото на реборда, която се намира в улея на релсата.



**Фиг. 5. Контакт на неработната страна на реборд на ново трамвайно колело с реборда на улейна релса с гранично износване в прав участък от пътя.**

Фигура 6. показва контактното петно при гранично износване на релсите и „високо” износен реборд на колелото. В този случай R3 е с по-малка стойност, а контактното петно е по цялата повърхност на износването, която е в улея на релсата.



**Фиг. 6. Контакт на неработната страна на реборд на трамвайно колело с „високо” износване на бандажа с реборда на улейна релса с гранично износване в прав участък от пътя.**

Напречната сила, с която който и да е реборд на колооста действа на релсата, се определя с израза:

$$(1) \quad H_K = \frac{mV^2}{\rho}$$

където:  $m$  – маса върху една колоос;  $V$  – скорост на трамвайната мотриси;  $\rho$  – радиус на кривината на пътя.

Силата на триене между реборда и релсата е:

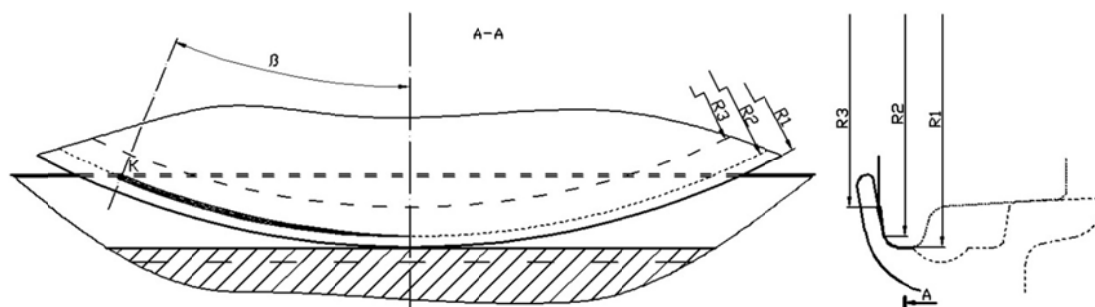
$$(2) \quad T = \mu H_K$$

където:  $\mu$  – коефициент на триене между реборд и релса.

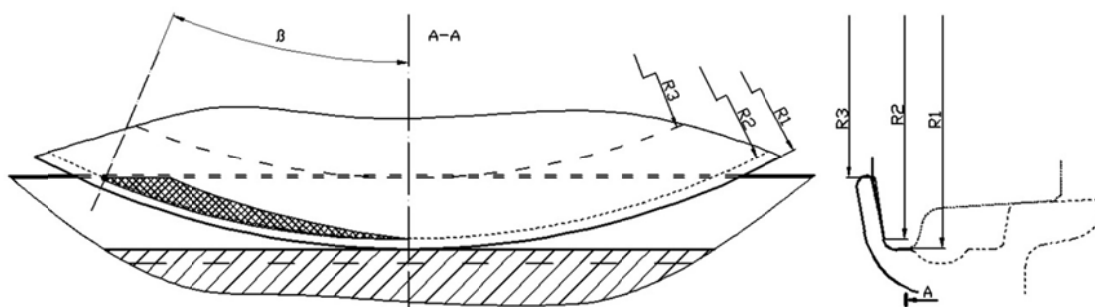
### 5. КОНТАКТ НА НЕРАБОТНАТА СТРАНА НА РЕБОРДА НА ТРАМВАЙНО КОЛЕЛО И РЕБОРДА НА ИЗНОСЕНА УЛЕЙНА РЕЛСА В КРИВУЧАСТЪК ОТ ПЪТЯ.

При движение на трамвайна мотриси в крива с малък радиус и междурелсие с голямо положително отклонение има възможност за контакт на челото на реборда на вътрешното колело с реборда на релсата. При максималните стойности на междурелсието вътрешното колело става атакуващо. Тогава контактът между челната страна на реборда на колелото и реборда на релсата е сходен с нормалния контакт на атакуващо външно колело. Но поради близките или успоредни повърхности на бандажния профил и износения реборд на релсата контакта продължава по горния ръб (по R2) на реборда на колелото до най-ниската точка на колелото.

На фигура 7. е показано контактното петно на реборда на колело с начално износване на реборда и реборд на износена релсата в крива, когато вътрешното колело е станало атакуващо. Контактът започва като точка и продължава по ръба като се губи при най-долната му точка.



Фиг. 7. Контакт на неработната страна на реборд на ново трамвайно колело с реборда на улейна релса с гранично износване в крива.



Фиг. 8. Контакт на неработната страна на реборд на трамвайно колело с „високо” износване на бандажа с реборда на улейна релса с гранично износване в крива.

Фигура 8. показва контактното петно при гранично износване на релсите и „високо” износен реборд на колелото в крива. Контактното петно започва от ръба на R2и се разсейва в различна степен по стената на реборда, продължава по ръба като контакта се губи при най-долната му точка.

Ширината на контактното петно в неговото начало зависи от ъгъла на атака и степента на износване на челото на реборда колелото и реборда на релсата.

Съответно при междинни стойности на параметрите на коловоза и колооста направляващата сила се разпределя в различна степен между външното и вътрешното на кривата колела.

## 6. РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА АТАКУВАЩАТА СИЛА ПРИ КОЛООС И КОЛОВОЗ С ГРАНИЧНО ИЗНОСВАНЕ НА РЕЛСИТЕ.

В нормални условия при движение в криванаправлящата сила  $Y$  се реализира в точката на контакт на реборда и главата на външната релса. Големината ѝ може да се определи по формулата на Целински [5]:

$$(3) \quad Y = (n-1) \left( 0,59 - \frac{R+200.l}{10000} \right) \mu P$$

където:  $l$  – база на талигата, m;  $R$  – радиус на кривата, m;  $P$  – натоварване на колело, kg;  $n$  – брой на осите на мотрисата.

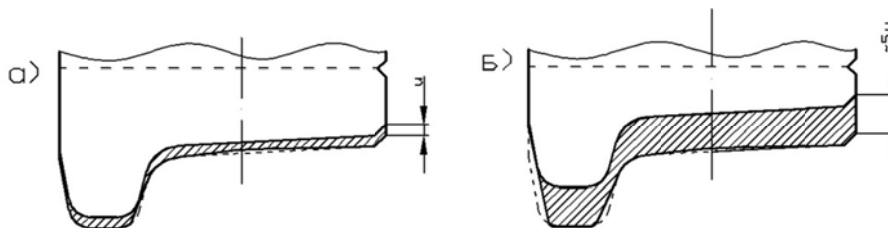
Степента на разпределение на силата между двете колела е функция на геометричните характеристики на коловоза и ходовата част.

## 7. ИЗВОДИ.

Изследването показва, че „високото” износване на неработната страна на ребордите се наблюдава при всички трамвайни талиги – двигателни и опорни. Това дава основание да се заключи, че вида и конструкцията на талигите не е от значение.

Основен фактор за „високо” износване на челната страна на ребордите се явява състоянието на трамвайния релсов път.

Допускане на „високо” износване на челната страна на ребордите на трамвайните колела води до бързо изчерпване на ресурса им. На фигура 9. е шрихована дебелината на отнемания материал  $u$  при престъргване на бандажите за възстановяване на профила. При „високото” износване (фиг. 9.б) се отнема около пет пъти повече материал от колкото при нормалното износване (фиг. 9.а), т.е. ресурса на бандажа намалява няколко пъти по-бързо.



Фиг. 9. Загуба на ресурс след „високо” износване на неработната страна на ребордите.

## 8. ПРЕПОРЪКИ.

С цел запазване на ресурса на трамвайните бандажи и гарантиране на безопасността на движението се правят следните препоръки:

1. Спешен ремонт на участъците от трамвайния релсов път със силно износени релси.
2. Постоянен контрол на трамвайните колела от квалифициран персонал.

3. При забелязване на признаци на „високо” износване на ребордите незабавно да се направи възстановяване на бандажния профил.

**ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] TCRP Report 155 – „Track Design Handbook for Light Rail Transit”, Federal Transit Administration in cooperation with the Transit Development Corporation, Washington, D.C., 2012
- [2] Михайлов Е., „Причини за интензивно и несиметрично износване на колелата при трамвайни мотриси”, 20-та международна научна конференция „Транспорт 2011”, ВТУ, София, 2011 г.
- [3] Михайлов Е., „Съпоставка на нормите за трамвайна колоос и коловоз с междурелсие 1009 mm, изграден с улейни релси.”, 22-ра международна научна конференция „Транспорт 2015”, ВТУ, Боровец, 2015 г.
- [4] „Правилник с технически изисквания и норми за трамваен релсов път”, Столична община, СКГТ, 2000 г.
- [5] Овечников Е., Сосянц В., „Рельсовые пути трамваев и внутризаводских железных дорог”, Москва, 1959 г.

## **WEAR OF THE NON-OPERATIVE SIDE OF THE RIM OF TRAM WHEELS WHEN PASSING THROUGH TRACKS BUILT WITH GROOVED RAILS**

**Emil M. Mihaylov, Dobrinka Atmadzhova, Ph.D.,**  
[emm\\_1968@abv.bg](mailto:emm_1968@abv.bg), [atmadzhova@abv.bg](mailto:atmadzhova@abv.bg)

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

***Key words:*** trams, track, rim, norms, grooved rails

***Abstract:*** This paper refers to trams operating in Sofia. Consider the problem of wear and tear on non-operative side of the wheel rims, which is typical for almost all wheelsets. The wear is a result of continued exposure to the non-operative side of the rim of the wheel with the rim of the rail. The report discusses various combinations of adverse factors leading to contact between the non-operative side of the rim and the rim of the rail. Mostly this happens in curves with a small radius, although the phenomenon can also appear in straight areas of the track. When examining the problem the current state of the tram track is taken into account. Observations suggest that the intense wear of the non-operative side of the rims is in railcars moving along routes, where the road conditions aren't good. The passage of the trams at the turning sections at the end of the track has been thoroughly examined. There the guiding force is distributed in varying degrees between the two wheels of the attacking wheelset. There are cases in which the attacking force is fully realized by the inner wheel (to the curve), i.e. the non-operative side of the rim becomes an operative side at the turning section at the end of the track.