

ПРИЧИНИ ЗА ИНТЕНЗИВНО И НЕСИМЕТРИЧНО ИЗНОСВАНЕ НА КОЛЕЛАТА ПРИ ТРАМВАЙНИ МОТРИСИ

Емил М. Михайлов

emm_1968@abv.bg

Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”, катедра “Транспортна техника”

Ул. “Гео Милев” 158, София 1574

БЪЛГАРИЯ

Резюме: Настоящият материал се отнася за колоосите на трамвайни талиги Т 81, с които са оборудвани намиращите се в експлоатация трамвайни мотриси (ТМ) типове Т6М 700 и Т8М 700М в град София. В материалът на базата на статистически данни и резултати от измервания и наблюдения са конкретизирани и описани причините за интензивното и несиметрично износване на бандажите и ребордите, както и на други елементи от колоосите. В резултат на изследванията и измерванията цитирани в настоящата разработка е установено, че основна причина за възникване на разлика в диаметрите на колелата на една колоос е различното натоварване на колелата в резултат на разлики в характеристиките на пружинните комплекти на буксовото окачване. Тези разлики в диаметрите се увеличават в процеса на експлоатация в следствие на приплъзването на колелото с по-малък диаметър при стремежа на колооса да се уравни.

Ключови думи: трамвайна мотриси, талига, колооси, колела, износване

1. Увод

Проблемът за износване на ребордите и бандажния профил и изобщо на колелата на подвижния железопътен състав представлява интерес както от чисто икономическа гледна точка, така и от гледна точка на сигурността на движението и комфорта, респ. плавността на хода на железопътните возила. Особено актуално е изследване на проблема при леката градска железница, по-конкретно трамвайните мотриси.

Направените измервания в периода Декември 2010 и Февруари 2011 на параметрите на около 20 % от намиращите се в експлоатация трамвайни талиги Т 81 показват наличие на големи разлики в диаметрите на колелата на едни и същи колооси при 80 % от тях [1]. Максималната разлика в диаметрите на колелата е измерена при 7^{-ма} колоос на ТМ с инв. № 908 – 14 mm, а средната разлика от всички измервания е 4,3 mm. При всички колооси с разлика в диаметрите на колелата се наблюдава характерно износване на търкалящите повърхности и ребордите, както и срязване на еластичните елементи в колелата.

Резултатите от тези измервания и наблюдения налагат разглеждане на геометричното положение на колоосите в зависимост от разликата в диаметрите в кръга на търкаляне на колелата от една колоос.

2. Геометрично положение на колоос в зависимост от разликата в диаметрите на колелата по кръга на търкаляне

Имайки предвид, че двете колела на една колоос са неподвижно свързани с оста, то те имат еднаква ъглова скорост. Колелата се търкалят по окръжности с еднакви диаметри, които са симетрично разположени спрямо геометричния център T на колооста (фиг. 1.а.).

При разлика в диаметрите на колелата (фиг. 1.б.), т.е. $D_1 \neq D_2$ като $D_1 > D_2$, където: D_1 - диаметър на лявото колело по кръга на търкаляне, D_2 - диаметър на дясното колело по кръга на търкаляне, оста на колооста се отклонява от хоризонталното си положение на ъгъл ε , като:

$$(1) \quad \tan \varepsilon = \frac{\Delta r}{2S}$$

където: $2S$ – междурелсие на коловоза.

$\Delta r = r_1 - r_2$ – разлика в радиусите на колелата на една колоос по кръга на търкаляне.

Поради малките стойности на ъгъла вместо $\tan \varepsilon$ се приема големината на ъгъла ε .

$$(2) \quad \varepsilon = \frac{\Delta r}{2S}$$

При постъпателното си движение колооста напречно се премества към колелото с по-малък диаметър като се стреми кръговете на търкаляне на двете колела да са с еднакви диаметри (фиг. 1.в.).

Напречното преместване на колооста в следствие на разликата в диаметрите на колелата се характеризира с величината δ – изместване на геометричния център на колооста, представляваща отношението:

$$(3) \quad \delta = \frac{\Delta r}{2b} = \frac{\Delta D}{4b}$$

където: $\Delta D = D_1 - D_2$ – разлика в диаметрите на колелата на една колоос по кръга на търкаляне;

b – наклон на профила на търкаляща част на колелото.

Възможното напречно изместване на геометричния център на колооста y_x е в рамките на сумарната хлабина между ребордите и релсите $\Delta\sigma_{zl}$, като максималната му стойност $y_{x \max}$ е половината от сумарната хлабина $\Delta\sigma_{zl}$, т.е.:

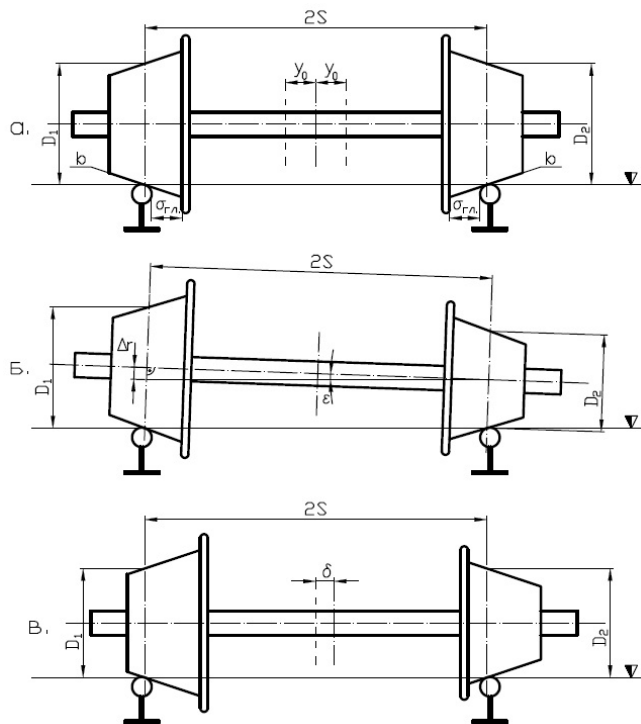
$$(4) \quad y_{x \max} = \frac{\Delta\sigma_{zl}}{2}$$

За да не се стига до контакт на десния реборд с релсата трябва да е изпълнено условието:

$$(5) \quad y_x < \frac{\Delta\sigma_{zl}}{2}$$

При равни други условия е в сила зависимостта:

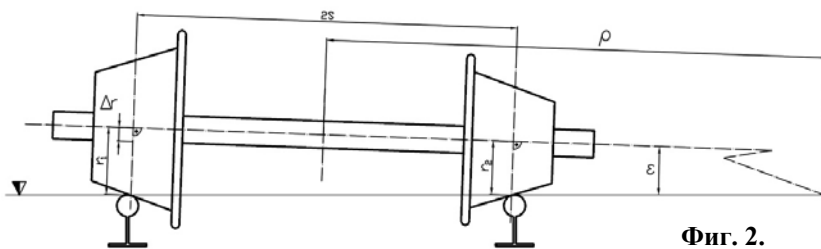
$$(6) \quad \delta = y_x$$



Фиг. 1.

- а) Положение на колоос и параметри.
 б) Положение на колоос при $D_1 \neq D_2$ и $D_1 > D_2$.
 в) Положение на колоос при $r_1 = r_2$, $\varepsilon = 0$ и $\delta = y_x$.

При постъпателното си движение колоо̀ста преди да изравни кръговете на търкаляне се търкаля по кръгове с различни диаметри. Тогава колелото с по-голям диаметър се стреми да се завърти около контактната точка на по-малкото колело. Предвид твърдата им връзка чрез оста това е невъзможно и едното (обикновено по-малкото) губи сцепление с релсата и приплъзва. Съответно геометричният център C на колоо̀ста описва траектория – крива линия с радиус на кривината ρ (фиг. 2.).



Фиг. 2.

От фигура 2. Може да се напише следната зависимост [2]:

$$(7) \quad \frac{\rho + s}{r_1} = \frac{\rho - s}{r_2}$$

След преобразуване на (7) и полагане $\frac{r_1 + r_2}{2} = r_{CP}$ и $r_1 - r_2 = \Delta r$ за радиуса на кривината ρ се получава:

$$(8) \quad \rho = \frac{2S \cdot r_{CP}}{\Delta r}$$

Като се има предвид, че напречното преместване y и разликата в радиусите Δr са в пряка зависимост, от реципрочната стойност на радиуса на кривината $\frac{1}{\rho} = \frac{\Delta r}{2S \cdot r_{CP}} = \frac{d^2 y}{dx^2}$ се получава диференциалното уравнение за колебанията на геометричния център на колоо̀ста т. С:

$$(9) \quad \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{f(x)}{2S \cdot r_{CP}} = 0$$

При конична повърхност на търкаляне на колелата: $f(x) = \Delta r = 2by$ и тогава:

$$(10) \quad \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{by}{Sr} = 0$$

Разликата в диаметрите и съответно радиусите на колелата на една колоос, при която възниква триточков контакт, т.е. точка на контакт на реборда на малкото колело със страничната стена на главата на релсата се определя по:

$$(11) \quad \begin{aligned} \Delta D &= 4 \cdot b \cdot y_{x \max} \\ \Delta r &= 2 \cdot b \cdot y_{x \max} \end{aligned}$$

3. Варианти на геометричното положение на колоос в зависимост от Δr

При постъпателното движение на колоос с разлика в диаметрите на колелата има три варианта зависещи от Δr :

- *Вариант I:* $\Delta r < 2 \cdot b \cdot y_{x \max}$ – колоо̀ста напречно се премества докато $r_1 = r_2$ и $\varepsilon = 0$ (фиг. 1.в.).
- *Вариант II:* $\Delta r = 2 \cdot b \cdot y_{x \max}$ – колоо̀ста напречно се премества докато $r_1 = r_2$ и $\varepsilon = 0$ и възникне трета точка на контакт – реборда на по-малкото колело контактува със страничната стена на главата на дясната релса.
- *Вариант III:* $\Delta r > 2 \cdot b \cdot y_{x \max}$ – (фиг. 3.б.) колоо̀ста напречно се премества, обаче в стърежа си да се уравни е ограничена от реборда на по-малкото колело. Тогава ъгълът ε намалява докато реборда на по-малкото колело се допре до релсата (фиг. 3.в.), но продължава да съществува, т.е. $\varepsilon > 0$ и се определя по (1). Величината δ нараства докато достигне стойността на $y_{x \max}$ и след това запазва стойността си постоянна. А колоо̀ста се търкаля по кръгове с различни радиуси $r_1 > r_2$.

4. Напречна сила действаща при контакта реборд/релса

Интерес представлява Вариант III, при който има постоянен контакт на реборда на колелото с по-малък диаметър и страничната повърхнина на главата на релсата. В точката на контакта на реборда с релсата (фиг. 5.а.) възниква напречна сила $H_{ц}$, която има характеристиките на центробежна сила породена от лъкатушенето на колооста [2].

$$(12) \quad H_{ц} = \frac{mV^2}{\rho}$$

където: m – маса върху една колоос;

V – скорост на ТМ;

ρ – радиус на кривината.

Като се замести (8) в (12) и се преобразува за хоризонталната сила се получава:

$$(13) \quad H_{ц} = mV^2 \frac{y_x b}{Sr_{CP}}$$

Предвид фактът, че профила на реборда откъм главата на релсата има наклон β (фиг. 5.), то силата в точката на контакта H_K се определя по израза:

$$(14) \quad H_K = H_{ц} \cdot \cos(90 - \beta)$$

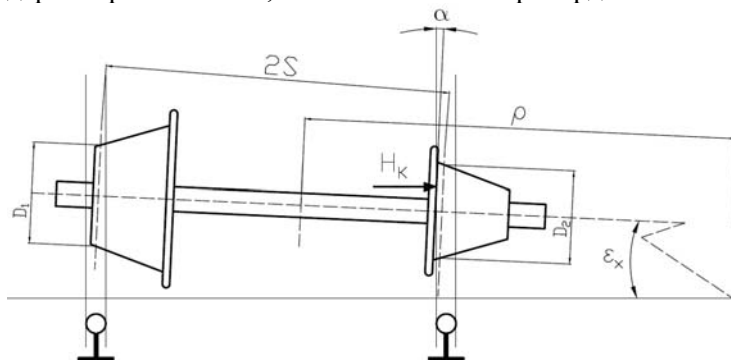
Като се има предвид, че ребордът на колелото се намира извън кръга на търкаляне и факта, и че по-малкото колело при движение постоянно приплъзва, то в точката на контакта има постоянно триене между реборда и странична стена на глава релса. В този случай силата в контактната точка H_K се явява нормален натиск и тогава за силата на триене в точката на контакта се получава:

$$(15) \quad T = \mu H_K$$

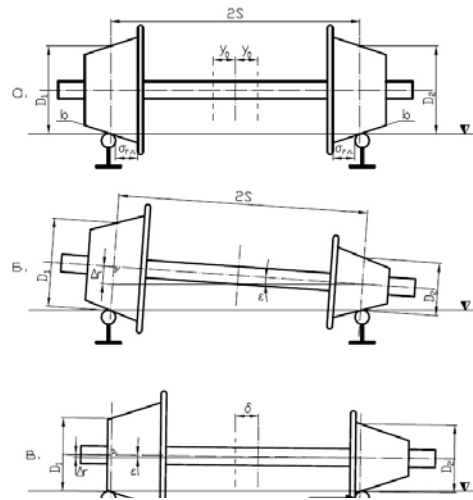
където: μ – коефициент на триене при плъзгане.

Приложната точка на напречната сила зависи от режима на движение на мотрисата.

Движение в тягов режим. Постъпателното движение на колооста се извършва в резултат на двигателния въртящ момент приложен в оста Y . Колелото с по-голям диаметър има постоянно сцепление с релсата и по-малкото не успява да се изравни с него, в резултат на това колооста се намира под ъгъл ϵ_x спрямо оста Y (фиг. 4.). При това положение на колооста реборда на колелото с по-малък диаметър атакува постоянно релсата, като ъгъла на атака α е равен на ъгъла ϵ_x . Тогава контакта на реборда с релсата се осъществява в една точка, в която е приложена контактната сила. Ъгълът на колооста ϵ_x зависи от начина на водене на буксите – доколко конструкцията на талигата ще позволи този ъгъл да нараства. При по-малки стойности на α опасността от дерайлиране е малка, но износването на ребордите е интензивно.



Фиг. 4. Положение на колоос с разлика в диаметрите на колелата в хоризонталната равнина.

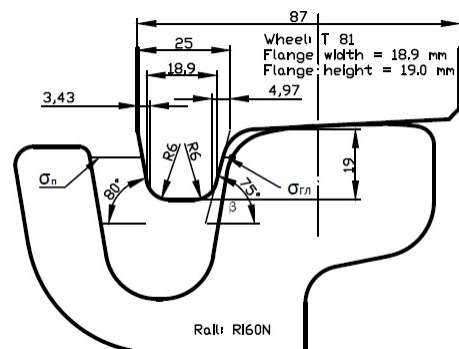


Фиг. 3.

а) Положение на колоос и параметри.

б) Положение на колоос при $\Delta r > 2 \cdot b \cdot y_{x \max}$.

в) Положение на колоос при $\Delta r > 2 \cdot b \cdot y_{x \max}$, $r_1 > r_2$, $\epsilon > 0$.



Фиг. 5. Размери на профил Т 81 в контакта с релса тип R160N.

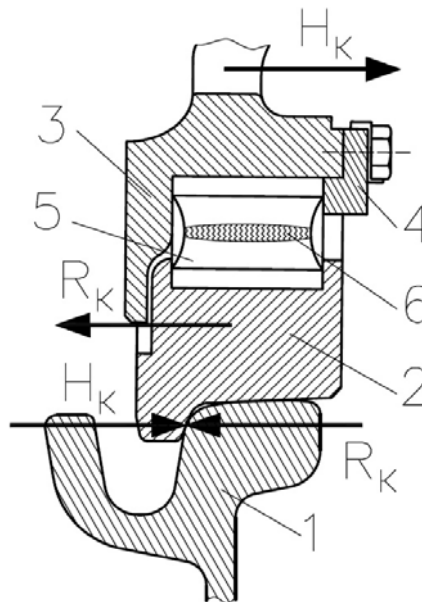
Движение в инерционен режим и в режим на електродинамично спиране. Постъпателното движение на колооста е в резултат на теглещата сила приложена в буксите. Отново голямото колело има постоянно сцепление, а малкото колело с приплъзване успява да се изравни с него, т.е. докато $\varepsilon_x = 0$. Наклона на оста ε във вертикалната равнина – резултат на разликата в радиусите се запазва. При това движение на колооста приложената точка на H_K се променя – от точката на контакт реборд/релса при максимално изоставане на колелото до разпределение на силата по контактната зона на равнината на реборда и страничната стена на главата на релсата.

Работата на колооста в положението показано на фигура 3.в. води до напрежения на срязване в еластичния елемент на колелото с по-малък диаметър (фиг. 6). При продължителна работа при условията на Вариант III еластичните елементи се късат в средното си сечение, което води до промяна на положението на бандажа спрямо главината на колелото.

5. Трамвайна талига Т 81

Направените измервания и наблюдения върху измененията в профила на бандажите при колоостите с бандажен профил Т 81 в резултат на движение с различни диаметри на колелата на една и съща колоос показаха следните резултати.

В Таблица 1. са показани пресметнатите стойности на горните зависимости приложени към трамвайната талига Т 81, при следните условия: Трамвайна колоос с нов профил на бандажа Т81, натоварване на колоос $m = 8\ 000\ \text{kg}$, коловоз – нови улейни релси тип Ri60N: $\sigma_{zл.} = 2,111\ \text{mm}$; $\Delta\sigma_{zл.} = 4,222\ \text{mm}$; $b = 1:20$; диаметър на ново колело $D = 705,54\ \text{mm}$, допустима разлика в диаметрите $[\Delta D] = 0,2\ \text{mm}$, междурелсие $2S = 1\ 009\ \text{mm}$, за следните скорости на движение: $1\ \text{m/s}$ ($3,6\ \text{km/h}$) – минимална скорост на първа позиция на контролера; $4,16\ \text{m/s}$ ($15,0\ \text{km/h}$) – следна експлоатационна скорост и $16,7\ \text{m/s}$ ($60,0\ \text{km/h}$) – конструктивна скорост.



Фиг. 6. Схема на силите, действащи в точката на контакт и на еластичния елемент.

H_K – сила в точката на контакт;

R_K – реакция на релсата;

1 – релса тип Ri60N;

2 – бандаж с профил Т 81;

3 – главина на колелото;

4 – осигурителен обръч;

5 – еластичен елемент;

6 – сечение на еластичния елемент натоварено на срязване.

Таблица 1.

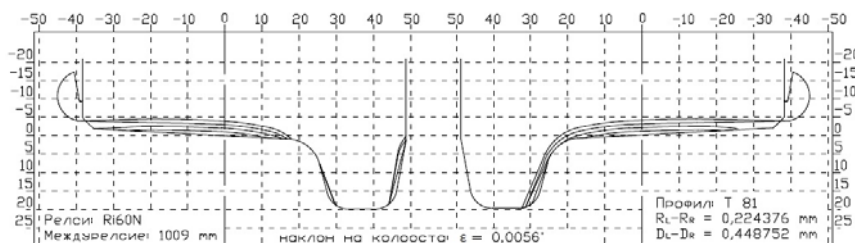
	$[\Delta D] = 0,2\ \text{mm}$			$\Delta D = 4,3\ \text{mm}$			$\Delta D = 11,0\ \text{mm}$		
	Вариант I			Вариант III					
Скорост на движение	1,0 m/s	4,16 m/s	16,7 m/s	1,0 m/s	4,16 m/s	16,7 m/s	1,0 m/s	4,16 m/s	16,7 m/s
ε по (2), deg	0,0056			0,1221			0,3123		
δ по (3), m	0,001			0,0215			0,055		
$y_{x\ \text{max}}$ по (4), m	0,002111			0,002111			0,002111		
ρ по (8), m	3558,9448			165,0512814			64,21276		
H_{II} по (13), N	2,2	38,9	626,9	48,5	838,8	13 517,7	124,6	2 156,0	34 745,7
T по (14), N	0,1	1,9	31,3	2,4	41,9	675,9	6,2	107,8	1 737,3

Данните в таблица 1. показват, че с нарастването на разликата в диаметрите на колелата на една и съща колоос нарастват напречната сила, силата на триене в контактната зона на реборда и стената на главата на релсата и напреженията на срязване в средното сечение на еластичния елемент. Същевременно силно намалява радиуса на кривината, по която се движи геометрич-

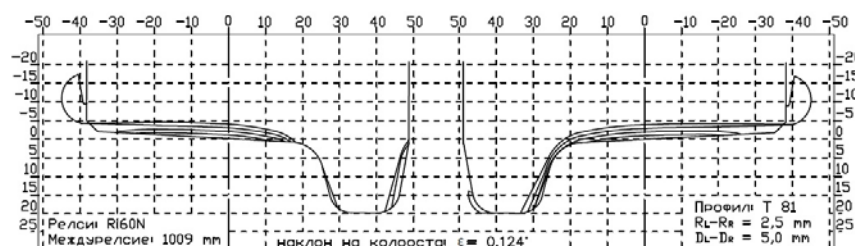
ния център на колооста в резултат, на което броя на циклите „изоставане – догонване” на колелото с по-малък диаметър също нараства.

Движението с разлика в диаметрите на колелата на една и съща колоос води до несиметрично износване на бандажите характеризиращо се с „двоен реборд”, едностранно източване на материал от бандажите, интензивно износване на ребордите на колелото с по-малък диаметър. На фигури 6., 7. и 8. са показани етапите на изменение на профила на бандажите.

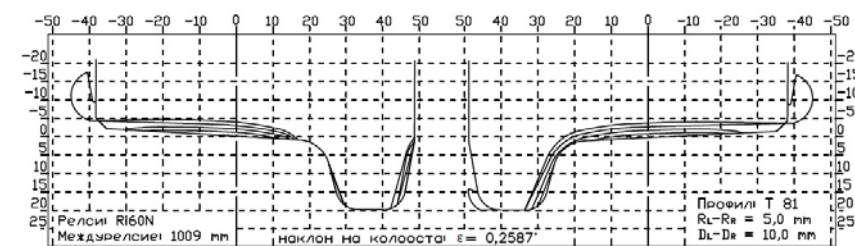
Фиг. 7. Износване на бандажи при двуточков контакт на дясното колело в следствие на разлика в радиусите от 0,2244 mm



Фиг. 8. Износване на бандажи при двуточков контакт на дясното колело в следствие на разлика в радиусите от 5,0 mm



Фиг. 9. Износване на бандажи при двуточков контакт на дясното колело в следствие на разлика в радиусите от 10,0 mm



6. Заключение

В материалът са установени причините за възникване и задълбочаване на разликата в диаметрите на колелата на една и съща колоос. Чрез изведените зависимости са пресметнати както напречните сили действащи в контакта „реборд – релса” при трамвайните талиги Т 81 и силите на триене, така и геометричните параметри на поведението на колоос с разлика в диаметрите на колелата при различни режими и скорости на движение.

Показани са етапите на промяна на бандажния профил при различни разлики в диаметрите на колелата.

В резултат на изследванията и измерванията цитирани в настоящата разработка е установено, че основна причина за възникване на разлика в диаметрите на колелата на една колоос е различното натоварване на колелата в резултат на разлики в характеристиките на пружинните комплекти на буксовото окачване. Тези разлики в диаметрите се увеличават в процеса на експлоатация в следствие на приплъзването на колелото с по-малък диаметър при стремежа на колооста да се уравни.

За отстраняване на тези проблеми се препоръчва:

- Постоянен контрол на натоварването на колелата.
- Колоосите с установени отклонения от нормите – диаметър на колелата и нарушен бандажен профил – да се въведат в съответствие с нормите с цел да се запази ресурса им.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Михайлов Е., АНАЛИЗ НА ПРИЧИНИТЕ ЗА ВЪЗНИКВАНЕ НА ОТКАЗИ В СИСТЕМАТА „ВХОДЯЩ ВАЛ – КАРДАНЕН ВАЛ – ВХОДЯЩ ВАЛ” НА ТРАМВАЙНИ ТАЛИГИ Т 81, XX Международна научна конференция „ТРАНСПОРТ 2011”, ВТУ “Т. КАБЛЕШКОВ”, СОФИЯ ,2011
- [2] Караджов, Т., Димитров Ж., ВАГОНИ, Техника, София, 1988.

REASONS FOR INTENSIVE AND ASYMMETRICAL WEAR-OUT OF TRAM WHEELS

Emil Mihaylov

*Department of Transport Equipment, Todor Kableshkov Higher School of Transport
158 Geo Milev Street, Sofia 1574
BULGARIA*

Key words: tram, bogie, wheelsets, wheels, wear.

Abstract: *This paper refers to the wheelaxles of tram T 81 bogies, which in-service trams (TM) 700 of types T6M T8M 700M in Sofia are equipped with. Based on statistics and results from measurements and observations, the reasons for the intensive and irregular wear-out of treads, edges, and other elements of the wheelsets are specified and described. As a result of examinations and measurements quoted in this paper it has been established that the main reason for the occurrence of difference in the diameters of wheels of a wheelaxle is different loads on wheels due to differences in the spring set of axle suspension. These differences in diameters increase in operation due to spinning of the wheel with a smaller diameter with the wheelaxle tending to equilibrate.*