

---

## АНАЛИЗ НА ПРИЧИНИТЕ ЗА ИНТЕНЗИВНО ИЗНОСВАНЕ НА РЕБОРДИТЕ ЗА ПЪТНИЧЕСКИ ВАГОНИ ОТ ПАРКА НА БДЖ

Цвятко Станев Пенчев  
[lv@vtu.acad.bg](mailto:lv@vtu.acad.bg)

Добринка Борисова Атмаджова  
[datmadj@vtu.acad.bg](mailto:datmadj@vtu.acad.bg)

*Катедра “Транспортна техника” ВТУ “Т. Каблешков”  
гр. София 1574 ул. Гео Милев № 158, БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** пътнически вагон, колоос, реборд, износване.

**Резюме:** В статията се дават резултати, потвърждаващи високата интензивност на износване на ребордите, получени през последните години за сравнително нови серии пътнически вагони от парка на БДЖ, като се анализират главните причини, обуславящи интензивността на износването в обща постановка и в частност за гореспоменатите условия на БДЖ. Обоснова се изводът, че основният фактор, определящ интензивността на износване на ребордите, е ъгълът на атака; защото от него зависи направляващата ребордна сила, геометрично-кинематичните условия на контакта (които са определящи за енергията на триенето и износването) и зоната на контакта от бандажния профил (от която се определят параметрите на износването). Теоретично получените резултати са потвърдени от проведените експлоатационни изпитания, показали многократно намаляване (5 ÷ 10 пъти) на интензивността на износването чрез намаляване на ъгъла на атака, постигнато за сметка на самонаправляване на колоосите.

### 1. Увод

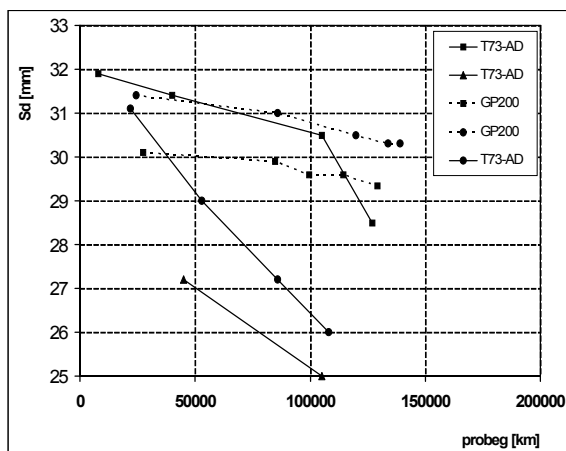
Проблемът за износване на ребордите и бандажния профил изобщо от колелата на подвижния жп. състав винаги и навсякъде е представлявал интерес както от чисто икономическа гледна точка, така и от гледна точка на сигурността на движението и комфорта, респ. плавността на хода на железопътните возила. Това се отнася най-вече за този вид износване на бандажния профил, при който се изменя дебелината на реборда  $S_d$  и неговата стръмност, оценявана с параметъра  $q_f$ .

Стремежът за намаляване интензивността на износване на ребордите в последното десетилетие определи и една характерна тенденция в техническата политика на водещите фирми и железници в Европа, насочена към създаване на ново поколение вагонни талиги, характеризиращи се с подобрена проходимост в

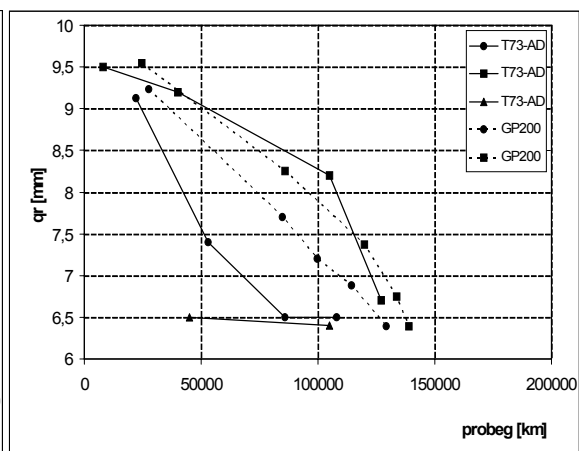
криви - т.н. талиги с радиално установяване на колоосите в криви или с радиално вписване. С цел да бъде създадена унифицирана в рамките на UIC талига с такива качества, през 1988 г. бе организиран конкурс от Дирекционния съвет на Комитет В 176 към UIC и започнаха изпитвания от различни фирми, участващи в този конкурс.

Въпреки голямото внимание към интензивността на износване на бандажния профил, очевидно поради голямата сложност на проблема, до настоящия момент не съществува утвърден метод за количествено или дори качествено определяне на този показател нито чрез пресмятания в стадия на конструирането, нито при провеждане на определителни (институтски) динамично-ходови изпитвания. Съществуват неопровержими доводи за това, че и при полигонни изпитвания, особено в частност при затворени полигони, получените данни нямат необходимата представителност за формиране на окончателна оценка; същото в неизмеримо по-голяма степен се отнася за стендовите изпитвания от всякакъв вид. Във всички случаи най-достоверната, единствено меродавна и окончателна оценка за интензивността на износване на бандажите се формира на базата на продължителни експлоатационни изпитвания, обхващащи период най-малко между два последователни ремонта с престо̀ргване на бандажния профил.

Да се спрем на една сравнително нова доставка у нас пътнически вагони с талига тип GP-200. Оказва се, че при движение по релации с остри криви, пробегът между две престо̀ргвания обикновено е 100 000 - 150 000 km (вж. фиг. 1 и фиг. 2) и не може да достигне междуремонтния пробег.



**Фиг.1** Извадка от резултатите за хода на износванията на ребордите по параметър Sd за група вагони с талиги GP200 и T73AD (непреустроена) в графичен вид.

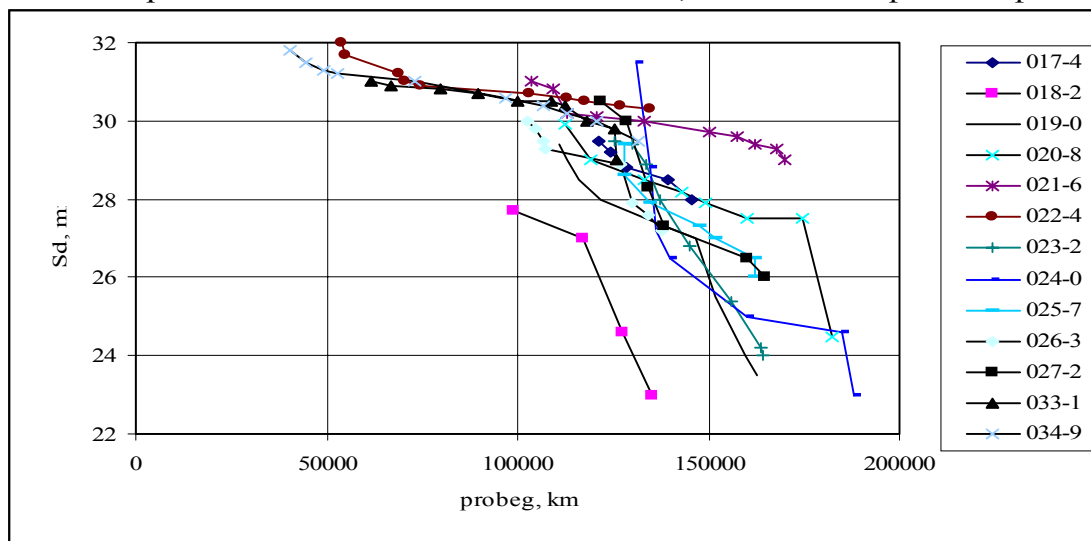


**Фиг. 2** Извадка от резултатите за хода на износванията на ребордите по параметър qf за група вагони с талиги GP200 и T73AD (непреустроена) в графичен вид.

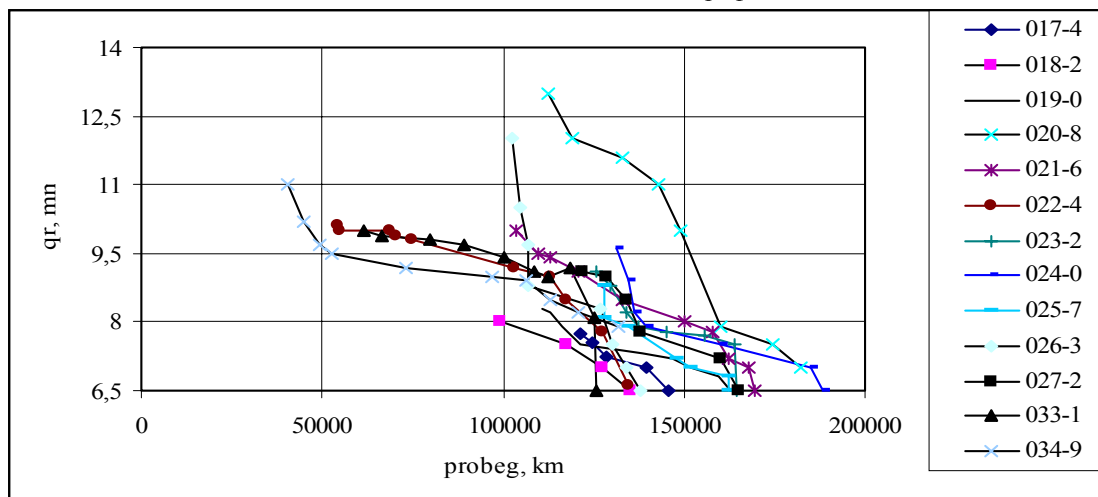
Особено масово се прояви интензивно износване на най-новите български вагони тип В-84 с талиги тип Т73-АД в началния период на експлоатацията им. Причината явно бе в непровеждане на продължителни експлоатационни изпитвания на пробната серия и някои организационни фактори, свързани с излизането на вагоностроенето извън БДЖ в тези години.

Интензивно износване се прояви и при подложените на рециклиране във Вагонен завод –Дряново пътнически вагони серия Вmp с талига тип “DVJ – Gorlitz 5a”, произведени през 1972 г. в бившата ГДР във вариант купейни вагони за нуждите на международния превоз на пътници. Дебелината на реборда Sd и

особено критерият  $q_R$  достигнаха критични стойности и се наложи престъргване на бандажите при пробег от около 150 000 km. Това ясно се вижда от измерените параметри - дебелината на реборда  $S_d$  и критерии  $q_R$  - във Вагонен Район Пловдив в периода 15.07. 1999 г. – 16. 03. 2000 г., показани на фиг. 3 и фиг. 4.



**Фиг.3** Извадка от резултатите за хода на износванията на ребордите по параметър  $S_d$  за група вагони с талиги “DVJ – Gorlitz 5a”, в графичен вид.



**Фиг. 4** Извадка от резултатите за хода на износванията на ребордите по параметър  $q_R$  за група вагони с талиги “DVJ – Gorlitz 5a”, в графичен вид.

Прави впечатление, че в повечето случаи определящ параметър за интензивността на износване и междуремонтният пробег за обточване на бандажния профил е параметърът  $q_R$ ; тази констатация представлява основа за други изследвания, излизащи извън рамките на настоящите.

## 2. Предварителни сведения относно причините за интензивно износване на ребордите

В повечето източници причините за износването на ребордите се свързва единствено с направляващата ребордна сила  $Y$ , а някои от тях изтъкват и ъгъла на атака между атакуващото колело и релсата (т.е. ъгълът който сключва равнината на атакуващото колело с тангентата към релсата в контактната точка). При по-специални условия интензивното износване може да бъде обусловено от автотрептенията (автоколебанията) между колелета и релсите в хоризонтално

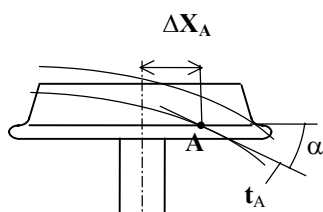
напречно направление. Такива процеси бяха наблюдавани, например, при изпитванията на българските талиги с различни междурелсия поради отклонения от изискванията за монтажа на лагерите между колелата и оста.

Най-често, обаче, интензивното износване на ребордите е съпроводено с интензивно износване на вътрешната стена на външната релса и се обуславя от ъгъла на атака и направляващата ребордна сила. Но в същност между тези две величини приоритет има ъгълът на атака, дори той представлява истинската причина, първопричината, а направляващата ребордна сила се явява предимно като следствие; Това е така, защото тя при определени стойности на осовото натоварване, скоростта, коефициент на триене, радиуса на кривата, надвишението и др. зависи само от ъгъла на атака, като нараства с неговото увеличаване. По-точно казано, истинската причина в разшифрован вид за интензивното износване на ребордите се свежда до геометрията и кинематиката на контакта “колело-релса” (детерминирани – при дадени размери на бандажния профил и релсата – само от ъгъла на атака). Контактът между колелото и релсата, както е известно, се осъществява с т.н. контактното петно, представляващо обикновено елипса с дължина  $10 \div 15$  mm на голямата ос. Поради малките размери на контактното петно и за по-точно и просто изразяване, най-често се използва понятието “контактна точка”, намираща се в центъра на контактното петно.

И така, като се казва, че първопричината за интензивното износване на ребордите се свежда до геометрията и кинематиката “колело-релса”, това означава, че е важно както местоположението на контактната точка, така и начинът на осъществяване на контакта при въртене на колелото: предимно чрез търкаляне или чрез плъзгане. Разбира се, най-добре е, когато контактната точка се намира в основата, дори в самото начало, на реборда (а не в стръмната му част) и когато в процеса на въртене на колелото плъзгането между него и релсата е минимално.

### 3. Особенности на местоположението на контактната точка “колело-релса”

Предварително ще отбележим, че когато ъгълът на атака  $\alpha$  не е равен на нула, контактната точка между колелото и релсата не се намира точно в средната вертикална равнина на колелото (или под осовата линия на оста на колооста), а е изместена от нея напред (със знак “+”) при положителна стойност на ъгъла на атака  $\alpha$  (както е при атакуващото колело) или назад (със знак “-”) спрямо посоката на движение.



**Фиг. 5** Линейно предварение на контактната точка между колелото и релсата

При това, знакът на ъгъла  $\alpha$  - положителен или отрицателен – се определя от това дали равнината на колелото “пресича” релсата в посока на движението или в обратната посока. Прието е надлъжното изместване  $\Delta X_A$  на контактната точка А от средното ѝ положение, независимо от това дали е положително или отрицателно, да се нарича линейно предварение на контактната точка (вж. фиг.5).

Логично е да се допусне, че линейното предварение на контактната точка се увеличава с увеличаване на ъгъла на атака и радиуса на колелото.

Това зависи очевидно и от ъгъла на наклона на образуващата на реборда в мястото на контакта. За извеждане на точната зависимост [4, 5] ще изходим от фиг. 6а (където е дадена вертикалната проекция на една ивица от колелото, съдържаща контактната точка) и фиг. 6б (където е представен вертикален разрез през контактната точка от равнината F-F).

От фиг. 6а произтича следната зависимост (1), а от фиг. 6б – зависимостта (2):

$$(1) \overline{\Delta X_A} = \overline{DA} = \overline{OA} \cdot \sin \alpha;$$

$$(2) \overline{OB} = \overline{OA} = r_A \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

От горните две зависимости следва:

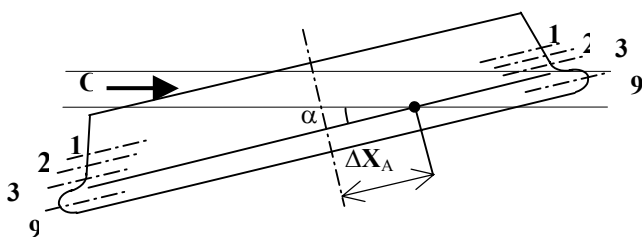
$$(3) \overline{OA} = \frac{\Delta X_A}{\sin \alpha} = r_A \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

от където, поради сравнително ниските стойности на ъгъла на атака  $\alpha$ , замествайки  $\sin \alpha = \alpha$  получаваме:

$$(4) \Delta X_A = r_A \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta$$

За да се анализира по-пълно геометрията на контакта между колелото и релсата, ще използваме т.н. разрез на Jahn [4, 5], за който е характерно, че главата на външната

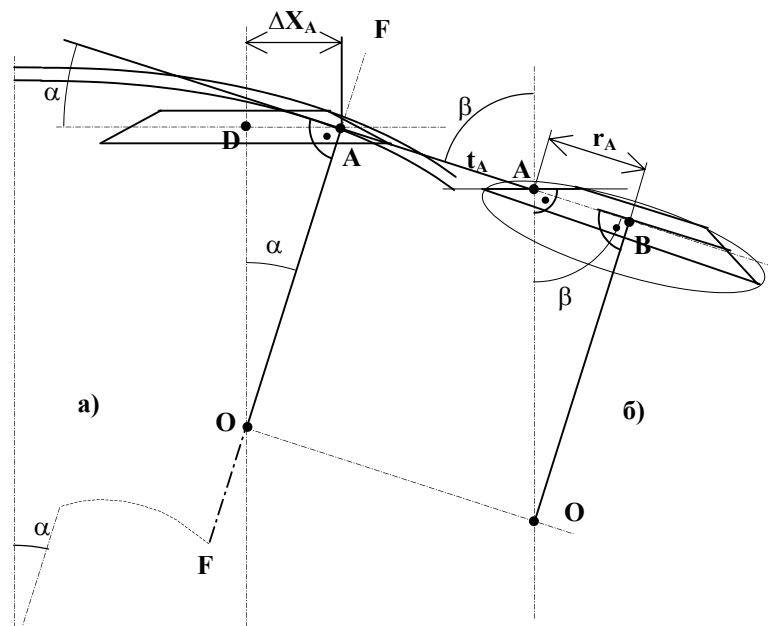
релса (или по-точно – водещият ѝ вътрешен ръб) се представя в напречен разрез или в поглед по направление С, съгласно фиг. 7, а колелото (бандажният профил) се представя с окръжностите, получени от сеченията му с успоредните



фиг. 7 Предварителни приемания при построяване разреза на Jahn.

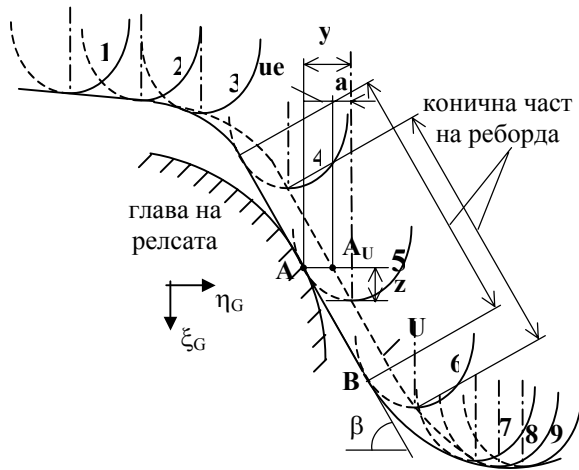
приемаме като права за разглеждания сравнително къс участък), се изобразяват като елипси 1, 2, 3, ... (вж. Фиг. 8).

За местоположението на контактната точка А между колелото и релсата ние поначало нищо не знаем, освен това, че тя се намира на някоя от изобразените елипси. Очевидно, обвивката В на тези елипси определя съвкупността от възможните точки на контакта между колелото и релсата и се



фиг. 6 Геометрични зависимости за определяне линейното предварение на контактната точка.

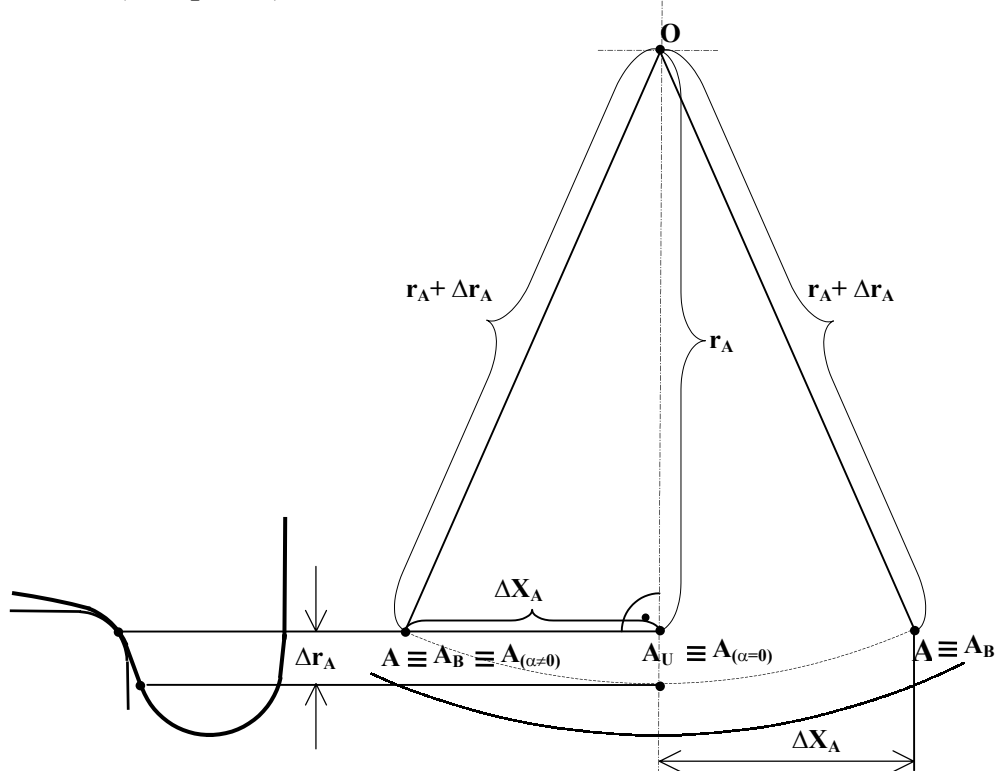
представя с окръжностите, получени от сеченията му с успоредните вертикални равнини 1-1, 2-2, 3-3, ..., разположени достатъчно близко помежду си. Тези кръгови сечения (окръжности), естествено, проектирани по С (т.е. надлъжно на релсата, която



фиг. 8 Построяване разреза на Jahn

близки разстояния) наклонът като постоянен и да считаме, че, ако  $A_U$  е контактна точка при  $\alpha=0$ , то  $A$  (контактна точка при  $\alpha>0$ ) ще се намира на същото ниво (вж. фиг. 9).

нарича линия (или профил) на допиране и тя, както се вижда от фиг. 8, при  $\alpha \neq 0$  се различава от профила на реборда  $U$ , а при  $\alpha=0$  ще се слива с него. В участъка, където ъгълът на наклона на реборда е постоянен (а именно в коничната част на реборда) линията на профила на допирането  $B$  е успоредна на линията на профила на реборда  $U$  и контактната точка  $A_U$  при  $\alpha=0$  се измества хоризонтално и става контактна точка  $A$  при  $\alpha \neq 0$ . Това ни дава основание да приемем (за сравнително



Фиг.9 Геометрични зависимости за определяне на изместването на контактната точка в посока към върха на реборда.

Въз основа на горния извод, от образувания правоъгълен триъгълник  $OAA_U$  на фиг. 9 следва:

$$(5) r_A^2 + \Delta X_A^2 = (r_A + \Delta r_A)^2 \text{ или } (6) \Delta r_A = \Delta X_A^2 / 2r_A$$

и при заместване в (6) на  $\Delta X_A$ , определено от (4), получаваме нарастването  $\Delta r_A$  на радиуса  $r_A$ , предизвикано от изменението на ъгъла на атака от  $\alpha=0$  до  $\alpha>0$ :

$$(7) \Delta r_A = \frac{1}{2} r_A \alpha^2 \cdot \text{tg}^2 \beta$$

И така, от зависимостите (4) и (7) следва, че при увеличаване стойността на ъгъла на атака от  $\alpha=0$  до произволна положителна стойност ( $\alpha>0$ ) контактната точка между атакуващото колело и релсата се измества напред (на разстояние  $\Delta X_A$ ) и в радиална посока към върха на реборда (навън) на разстояние  $\Delta r_A$ .

Както се вижда от таблица 1, стойностите на тези измествания  $\Delta X_A$  и  $\Delta r_A$  могат застрашително да нарастнат при големи стойности на ъгъла на атака  $\alpha$  и ъгъла на наклона на реборда  $\beta$ .

**Таблица 1** Изместване на контактната точка при  $r=460$  mm

		$\Delta X_A$ и $\Delta r_A$ при различни $\beta$ , в mm			
		При $\beta=60^0$	При $\beta=70^0$	При $\beta=78^0 45'$	При $\beta=81^0$
При $\alpha=0,01$ rad	$\Delta X_A = r_A \cdot \alpha \cdot \text{tg} \beta$	7,96	12,64	23	29,04
	$\Delta r_A = \frac{1}{2} r_A \cdot \alpha^2 \cdot \text{tg}^2 \beta$	0,069	0,173	0,575	0,916
При $\alpha=0,04$ rad	$\Delta X_A = r_A \cdot \alpha \cdot \text{tg} \beta$	31,84	50,56	92	116,16
	$\Delta r_A = \frac{1}{2} r_A \cdot \alpha^2 \cdot \text{tg}^2 \beta$	1,10	2,77	9,2	14,66

Описаният ефект на изместване на контактната точка напред и навън (т.е. към върха на реборда) представлява интерес не само от гледна точка интензивността на износване (както ще видим по-нататък), но и от гледна точка сигурността срещу дерайлиране; защото приближаването на контактната точка към върха на реборда, особено при наличие на “изостряне”, е изключително опасно.

#### 4. Скорост на плъзгане в контактната точка и критерий за износване

За представляващото най-голям интерес атакуващо колело, както е известно [1], относителната скорост на плъзгане “u” има следните компоненти:

$$(8) u_x = -\frac{y_A}{R} - \frac{\Delta r_A}{r_e} \quad (\text{при това } y_A < 0) - \text{ в надлъжно направление;}$$

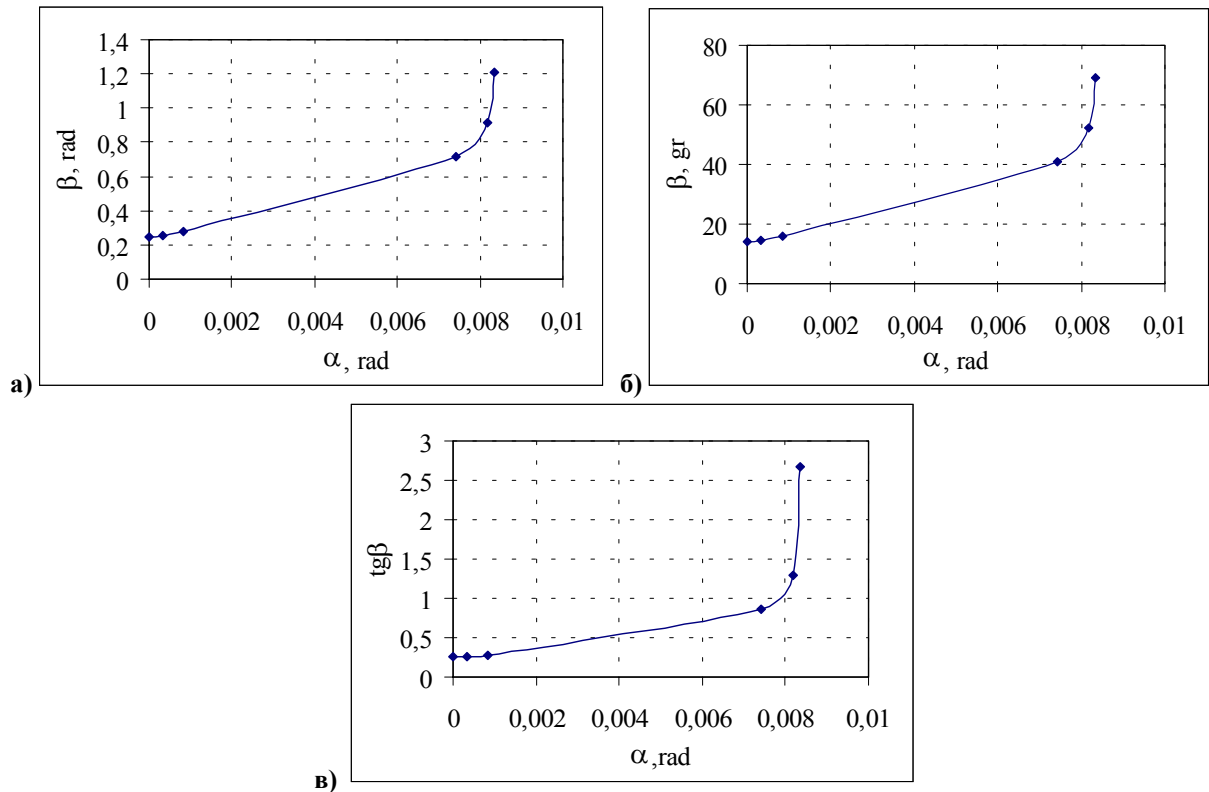
$$(9) u_y = \alpha - \text{ в напречно направление;}$$

$$(10) u_z = -\frac{\Delta X_A}{r_e} \approx \frac{\Delta X_A}{r_m} \approx \alpha \cdot \text{tg} \beta - \text{ във вертикално направление.}$$

Където:  $\Delta X_A \equiv X_A$  и  $y_A$  – координатите на контактната точка А при положение, че началото на координатната система е в средната точка на колооста, и оста  $x$  е насочена надясно по посока на движението, оста  $y$  – към нас, т.е. към вътрешната релса (при дясна крива!) и оста  $z$  – надолу;  $r_e$  и  $r_m$  – съответно еквивалентен и среден радиус на търкаляне за колооста (с приближение  $r_e = r_m$ );  $r_A = r_{вн}$  – радиус на търкаляне на външното колело;  $r_{вт}$  – радиус на търкаляне на вътрешното колело от същата колоос;  $\Delta r = \frac{1}{2}(r_{вн} - r_{вт})$ ;

$$r_m = \frac{1}{2}(r_{вн} + r_{вт}); R - \text{ радиус на кривата.}$$

Във връзка с анализа на формули (8) ÷ (10), трябва да се отбележи, че доколкото ъгълът на атака  $\alpha$  е определящ за местоположението на контактната точка А, същият е определящ и за наклона на реборда в тази точка  $\beta_A \equiv \beta$ , разбира се - при равни други условия (скорост, радиус на кривата и надвишение), както и за  $\text{tg } \beta$ , влизащ във формула (10) - вж. фиг. 10 а. б. в, отнасящи се за определени условия (радиусът на кривата  $R = 278 \text{ m}$ , непогасеното напречно ускорение  $a_H = 0,5 \text{ m/s}^2$ , бандажен профил БДЖ -2).

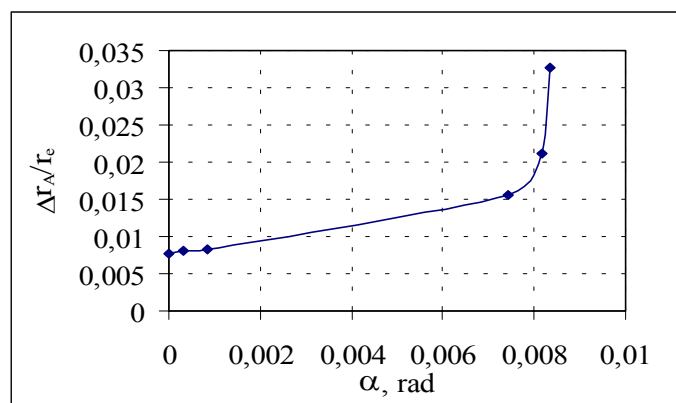


фиг. 10. Зависимост между ъгъла на атака  $\alpha$  и ъгъла на наклона на реборда  $\beta_A \equiv \beta$  в мястото на контактната точка А ( $\beta$  е представен в радиани, градуси и като функцията  $\text{tg } \beta$ ).

Съотношението  $\Delta r_A / r_e$  от формула (8) също зависи сравнително силно от ъгъла на атака (вж. фиг. 11) и това съотношение при най-неблагоприятни условия на вписване е определящо за компонентата  $u_x$ .

От трите компоненти на скоростта на плъзгане най-силно се изменя в зависимост от ъгъла на атака  $\alpha$  и обикновено най-голяма е компонентата  $u_z$ . Поради

това, тази компонента е определяща за абсолютната стойност на скоростта на плъзгане “ $u$ ”, която се определя по формулата:



Фиг. 11. Зависимост на съотношението  $\Delta r_A / r_e$  от ъгъла на атака



$$(11) u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}$$

Като критерий за износването може да се използва мощността  $W$ , която се губи за износването, т.е. произведението на абсолютната скорост на плъзгането  $U = u \cdot V$  по силата на триенето  $\mu N$  (където  $\mu$  е коефициент на триене\*, а  $N$  – нормалната сила в контактната точка), т.е.:

$$(12) W = u \cdot V \cdot \mu \cdot N$$

Работата на триенето  $E$  за някакъв интервал от време  $\Delta t$  ще се получи чрез умножаване на мощността по времето, т.е.:

$$(13) E = W \cdot \Delta t = u \cdot V \cdot \mu \cdot N \cdot \Delta t,$$

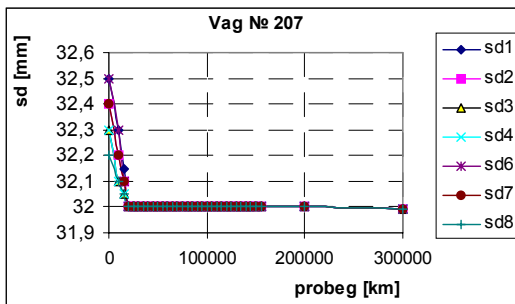
която може да се приеме като работата на износване.

Като критерии за интензивността на износването може да служи работата на износване за единица изминат път  $E_1$ , която се получава чрез разделяне на (13) с  $V \cdot \Delta t$  (изминатия път), т.е.:

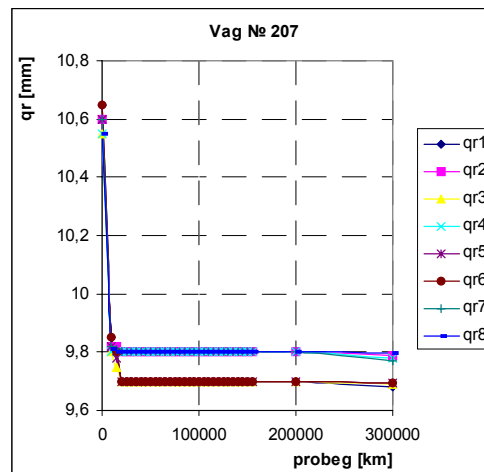
$$(14) E_1 = \mu \cdot u \cdot N$$

Въз основа на израза (14) и, като се имат предвид зависимостите (8) ÷ (10) на отделните компоненти ( $u_x, u_y, u_z$ ) от ъгъла на атака, се вижда, че с увеличаването му контактната точка все повече се отдалечава от основата на реборда и се приближава към върха му и, освен това – че работата на износването силно се увеличава.

Горният извод, безспорно, е много важен, но в първата си част е и особено интересен, защото от него непосредствено произтича следствието, че при малки стойности на ъгъла на атака триенето и износването се осъществяват в тази част от реборда, която е преди контролната точка на 10 mm от окръжността на търкаляне, поради което не влияят върху параметрите  $S_d$  и  $q_R$ .



**Фиг. 12.** Извадка от резултатите за хода на износванията на ребордите по параметър  $S_d$  за вагон с талиги тип Т73АД (преустроена) в графичен вид.



**Фиг. 13.** Извадка от резултатите за хода на износванията на ребордите по параметър  $q_R$  за вагон с талиги тип Т73АД (преустроена) в графичен вид.

С други думи, износването не само се намалява в абсолютен размер с намаляването на ъгъла на атака, но и протича в тази част от реборда (бандажния

\* Тук ще третираме коефициента на триене като постоянна величина, докато в същност той е функция на относителната скорост на плъзгане  $u$  и нейната критична стойност  $u_{кр}$ , като би могъл да се представи с израза  $\mu = \mu_0 \cdot u / u_{кр}$ , където  $\mu_0$  е постоянна стойност на коефициента на триене след достигане на  $u_{кр}$ .

профил), която не е меродавна за параметрите на износването. Изводът е потвърден от проведените у нас експлоатационни изпитвания [2, 3], при които, освен многократното намаляване на износването, бе регистрирано и абсолютно спиране на този процес в продължение на 120000 – 140000 km (като допълнително уверение за това е запазването при този пробег на нанесената боя върху ребордите). Извадка с получените резултати за хода на износването на отделните колела (от № 1 до № 8) за един от преустроените вагони В-84 с талиги тип Т73-AD са дадени на фиг. 12 и фиг. 13.

### **Заклучение**

1. От всички възможни причини, обуславящи интензивното износване на ребордите, като най често срещана за всички железници и фактически и определяща за условията на БДЖ, е увеличеният ъгъл на атака между атакуващото колело и релсата, обусловен от характеристиките на връзките “букса – рама”.

2. Намаленият ъгъл на атака влияе за съществено намаляване интензивността на износване на ребордите чрез геометрично-кинематичните условия на контакта “колело – релса”, чрез ребордната направляваща сила и чрез това, че процесът на износване протича в тази част на бандажния профил която не е меродавна за параметрите на износване.

3. С намаляване на ъгъла на атака, постигнато чрез самонаправляващи се колооси, интензивността на износване на ребордите се намалява многократно (5 – 10 пъти), като е регистрирано абсолютно спиране на процеса на износване за сравнително дълги отсечки, което е потвърдено експериментално при експлоатационни условия.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] АТМАДЖОВА, Д. Метод за определяне на характеристиките на буксовите връзки с рамата на талига за пътнически вагони, Дис., С., 2001
- [2] ПЕНЧЕВ ЦВ. и кол. Изследвания за намаляване износването на ребордите на новите пътнически вагони В-84 сп. “Железопътен транспорт”, бр. 1 и 2, 1996
- [3] ПЕНЧЕВ ЦВ. и кол. Оценка и анализ на постигнатото по намаляване износването на ребордите на новите пътнически вагони В-84 сп. “Железопътен транспорт”, бр. 6 -7, 1996
- [4] ХЕЙМАН Х. Направление железнодорожных экипажей рельсовой колеи, М., Транспорт, 1957
- [5] HANNEFORTH W., W. FISCHER. Laufwerke., Transpress VEB Verlag fur Verkehrswesen, Berlin 1986

# ANALYSIS OF THE CAUSES FOR THE INTENSIVE WEAR OF WHEEL FLANGES FOR CARRIAGES IN THE ROLLING STOCK OF BDZ

Tsvyatko Penchev Dobrinka Atmadzhova

*Department of Transport Equipment and Technologies Higher School of Transport "Todor Kableskov" 158 Geo Milev Street 1574 Sofia, Bulgaria*

**Keywords:** *carriage, wheel pair axle, wheel flange.*

**Summary:** *There are results given in the article that confirm the high intensity of wear of wheel flange. These results have been obtained in the last years and the objects of the analysis have been the new types of carriages in the rolling stock of BDZ. This causes for intensive wear have been analyzed as a general treatment and for the conditions in BDZ, mentioned above. The conclusion reached in the analysis is that the angle between the tangent of the rail and the wheel in the contact point is the main factor causing the intensive wear of wheel flanges, because it determines the guide force in the wheel flange, the cinematic - geometrical conditions in the contact zone (they determine the energy dissipated because of the friction and wear) and the contact zone of wheel (it determines the parameters of the wear). The given theoretical results are confirmed by the organized experimental researches showing a decrease of the intensity of wear (5-10 mm) as a result of decreasing the angle between the tangent of rail and the wheel in the contact point at the expense of self-guiding of the wheels.*