

## **АДАПТИРАНЕ КРИТЕРИЯ НА NADAL КЪМ ФАКТИЧЕСКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ**

**Добринка Атнаджова**  
[atmadzhova@abv.bg](mailto:atmadzhova@abv.bg)

**ВТУ „Тодор Каблешков”, гр. София, ул. Гео Милев 158  
БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** подвижен железопътен състав, сили в контакта „колело-релса”, сигурност срещу дерайлиране, критерий на Nadal.*

***Резюме:** Следвайки една от основните поставени цели – създаване на изчислителен метод за определяне сигурността срещу дерайлиране, който да съответства на утвърдения от БДС EN 14363 и UIC cod. 518 експериментален метод със същото предназначение – е необходимо, като първа стъпка в тази насока, да се извърши адаптиране на виртуалния модел на Nadal към реалните (фактически) дадености при запазване на някои от основополагащите му предпоставки, на първо място – системата сходящи се сили в една точка. При тези изисквания въпросният изчислителен метод да бъде подлежащ на системно усъвършенстване, като меродавната оценка относно използването му в практиката и неговата удачност може да бъде дадена в зависимост от бъдещото развитие на базата на достатъчни по количество и качество експериментално получени резултати. Въпросното адаптиране се извършва чрез създаден специално за целта модел, който е по-близък до реалността в сравнение с модела на Nadal, респ. на БДС EN 14363 и UIC cod. 518, отчитащ като параметър отношението на вертикалното натоварване на неатакуващото към атакуващото колело от колооста. В създадената условна система при извеждане на граничната формула за критерия срещу дерайлиране се получава, в отличие от Nadal-овата формула, допълнителен член с който, се въвеждат нови параметри. Граничната стойност на критерия срещу дерайлиране под влияние на параметъра отчитащ отношението на вертикалното натоварване на атакуващо към неатакуващо колело от една колоос се намалява.*

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Критерият срещу дерайлиране Y/Q на подвижния железопътен състав (ПЖПС) съгласно EN 14363 [1] и UIC-cod. 518 [2] по същество е критерият на Nadal [3,4]. В горесцитираните основополагащи нормативни документи липсва както теоретична обосновка, на този международно утвърден критерий срещу дерайлиране, което създава сериозни проблеми за използването му. Този критерий се основава на условна изчислителна схема, която се характеризира с две сходящи се сили в една точка (контактната точка между атакуващото колело и релсата) [5,6,7,8]. От друга страна, независимо от липсата на теоретична обосновка на критерия срещу дерайлиране в международните нормативни документи (МНД) е утвърден експериментален метод за определянето му с помощта на специална измерителна колоос [9,10,11].

Наред с утвърдения от МНД експериментален метод за доказване сигурността срещу дерайлиране на ПЖПС, за болшинството случаи от реалната практика можем да се доверим на теоретични методи на базата на пресмятане по утвърдени зависимости и/или моделиране. Поради това се налага да бъде въведена изчислителна схема и система от сили, различаваща се от тази на Nadal по това, че: първо – нововъдената система е по-близка до реалната с това, че съдържа 2 свързани чрез ос колела (атакуващо и неатакуващо), за разлика от виртуалната система на Nadal, която има само едно колело; второ – с оглед на предоставяне на възможност за опериране с определени зависимости, меродавните сили за процеса „дерайлиране” са идентифицирани според предмета (мястото) на действието им, като са използвани буквените означения:  $Y$ ,  $Q$  – хоризонтална и вертикална сили в контактните точки, носещи индекси „1” или „2” съответно за атакуващото и неатакуващото колела и параметрите на бандажния профил  $\gamma$  – ъгълът на наклона на реборда спрямо хоризонталата;  $\mu$  и  $\rho$  – съответно коефициент на триене и ъгъл на триене между реборда и релсата. Силите са по-близки до реалните и фактически действащи при режим на движение в крива и са приблизително равни на съответните сили от модела на Nadal, както следва:

$$(1) Y_1 = Y_1' + \mu_2(Q_2' - Y_p \cdot (h/c)), \quad Q_1 = Q_1' + Y_p \cdot (h/c),$$

$$(2) Y_2 = \mu_2[Q_2' - Y_p \cdot (h/c)], \quad Q_2 = Q_2' - Y_p \cdot (h/c),$$

където:  $Q'_1$  и  $Q'_2$  – номиналната вертикална сила в контактната точка на атакуващото и неатакуващото колела;  $Y_p$  – хоризонталната номинална сила на колооста, т. нар. рамна сила, предавана от рамата на колооста;  $\mu_2$  – коефициент на триене между неатакуващото колело и релсата;  $h$  – височина на приложната точка на рамната сила спрямо хоризонталната равнина на контактните точки „колело-релса”,  $c$  – разстояние между контактните точки с релсите на двете колела (прието  $c = \text{const} = 1460 \text{ mm}$  [12]);  $Y_p \cdot h/c$  – силова добавка (със знак “+” или “-“) към номиналните вертикални сили в контактните точки;  $\mu_2 \cdot [Q'_2 - Y_p \cdot (h/c)]$  – силова добавка към хоризонталното усилие  $Y_p$ , формирана от триещата сила между неатакуващото колело и релсата.

В по-нататъшните разглеждания ще използваме определенията, както следва:

- за нововъдения критерий  $Y_1/Q_1$ , характеризирани с гореупоменатите условия, ще се използва определението „условен”;
- за утвърдения по евро нормите и UIC критерии  $Y/Q$  ще се използва съкратено определение „утвърден” или „съгласно евро нормите” и д.п.

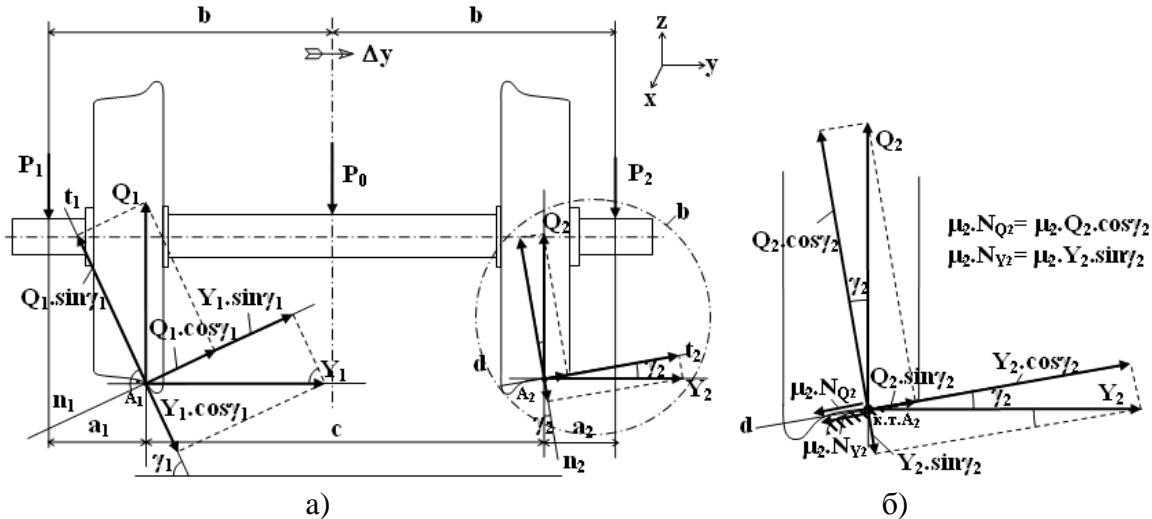
Тези определения за критериите се отнасят и за съответните на тях сили.

## 2. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА $\Gamma^{\text{ТА}}$ ГРАНИЧНА СТОЙНОСТ НА КРИТЕРИЯ $Y_1/Q_1$ – ТЕОРЕТИЧНА ОБОСНОВКА

При определяне на граничната стойност на критерия  $Y_1/Q_1$ , с цел отчитане разпределението на вертикалното натоварване между колелата ще си служим с изчислителна схема, при която атакуващото и неатакуващото колела се разглеждат като взаимно свързани чрез оста и образуващи едно идеално твърдо тяло. Но независимо от това изменение спрямо изчислителната схема на Nadal, тук се запазва основната постановка при извеждане на неговата формула за въпросния критерий, а именно, че разглежданата система се характеризира със сходящи се сили в една точка и, поради това – липсва огъващ момент.

На фиг.1.а,б, е представена схема на разположението и контактуването на атакуващата колоос спрямо релсите при вписване в крива с действащите върху колелата сили при характерното за третирания проблем условие-хоризонталните им резултанти  $Y_1$  и  $Y_2$  (съответно за атакуващото и неатакуващото колела) да имат обща директриса  $d$ ; освен това, прието е също, че колооста се намира в положение на първо

гранично равновесие, при което атакуващото колело контактува със заобления ръб на релсата в коничната си зона (или, ако няма, такава – в инфлексна точка) и при това – в момента (мига) на минимално нарушаване на силовото равновесие и започване на възвръщащото напречно придвижване на колооста към нормално положение, т.е. придвижване „надолу” на атакуващото колело и „нагоре” или при така изпълнената схема, по-скоро „надясно” - на неатакуващото.



Технически изисквания:

Силите  $Y_1$  и  $Y_2$  имат обща директриса  $d$ ; Директрисата  $d$  е прекарана през контактните точки  $A_1$  и  $A_2$  и се приема за хоризонтална.

**Фиг.1.а,б. Схема на силите и контактуването с релсите на атакуващата колоос:**  
**а) общ вид; б) увеличен вид на контакта и силите на неатакуващото колело.**

Исходното неравенство може да се запише в следния вид:

$$(3) Q_1 \cdot (\sin \gamma_1 - \mu_1 \cdot \cos \gamma_1) > Y_1 (\cos \gamma_1 + \mu_1 \cdot \sin \gamma_1) + Y_2 \cdot (\cos \gamma_1 + \mu_1 \cdot \sin \gamma_1),$$

а след разделяне с  $Q_1 \cdot (\cos \gamma_1 + \mu_1 \cdot \sin \gamma_1)$  получаваме

$$(4) \frac{\sin \gamma_1 - \mu_1 \cdot \cos \gamma_1}{\cos \gamma_1 + \mu_1 \cdot \sin \gamma_1} > \frac{Y_1}{Q_1} + \frac{Y_2}{Q_1},$$

при което, вземайки под внимание, че:

а) в лявата част на (4) при разделяне с  $\cos \gamma_1$  на числителя и знаменателя имаме:

$$\frac{\sin \gamma_1 - \mu_1 \cdot \cos \gamma_1}{\cos \gamma_1 + \mu_1 \cdot \sin \gamma_1} = \frac{\operatorname{tg} \gamma_1 - \mu_1}{1 + \mu_1 \cdot \operatorname{tg} \gamma_1} = \operatorname{tg}(\gamma_1 - \rho_1), \text{ като } \rho_1 = \operatorname{arctg} \mu_1;$$

б) в дясната част на (4) въз основа на силовия паралелограм за контакта на неатакуващото колело с релсата ( фиг.1.б – дясно) имаме:

$$Y_2 < Q_2 \cdot \frac{(\sin \gamma_2 + \mu_2 \cdot \cos \gamma_2)}{(\cos \gamma_2 - \mu_2 \cdot \sin \gamma_2)} = Q_2 \cdot \frac{\operatorname{tg} \gamma_2 + \mu_2}{1 - \mu_2 \cdot \operatorname{tg} \gamma_2} = Q_2 \cdot \operatorname{tg}(\gamma_2 + \rho_2), \text{ като } \rho_2 = \operatorname{arctg} \mu_2.$$

Въз основа на (4) при вземане под внимание на резултатите от (а) и (б) получаваме зависимостта за първата гранична стойност на критерия  $Y_1/Q_1$  или за коригираната  $\Gamma^{\text{ба}}$  гранична стойност на критерия  $Y/Q$

$$(5) (Y/Q)_1 \approx (Y_1/Q_1)_1 = \operatorname{tg}(\gamma_1 - \rho_1) - (Q_2/Q_1) \cdot \operatorname{tg}(\gamma_2 + \rho_2), \text{ като } \rho_1 = \operatorname{arctg} \mu_1 \text{ и } \rho_2 = \operatorname{arctg} \mu_2.$$

Имайки предвид ниската стойност на ъгъла –  $\gamma_2 = 2,5^\circ \div 3^\circ$  за стария и  $\gamma_2 \approx 1,5^\circ$  (или 1:40) за новия профил) – зависимостта (5) може да се представи в приближен вид:

$$(6) (Y_1/Q_1)_{\text{I при } \gamma_2 \rightarrow 0} \approx \operatorname{tg}(\gamma_1 - \rho_1) - (Q_2/Q_1) \cdot \mu_2, \text{ като } \mu_2 = \operatorname{tg} \rho_2,$$

при което (6) не се различава по същество от формулата на Марье.

За потвърждаване достоверността на получените резултати за първата гранична стойност на критерия  $Y_1/Q_1$  ще потърсим решение по друг метод, който е принципно различен от гореприложения; например, при използване принципа на виртуалните премествания от Аналитичната механика на фиг.2 е представена изчислителна схема на на разглежданата система с две свързани помежду си колела, т.е. цялата колоос е заменена в схемата с пръта 1, завършващ в краищата си с опорните пети 2 и 3, съответстващи на контактите на атакуващото и неатакуващото колело с релсите.

След като е определен полюса на завъртане  $O$  от пресечната точка на нормалите  $n_1$  и  $n_2$  в контактните точки  $A_1$  и  $A_2$  на опорните повърхнини (пети) 2 и 3, директно ще пристъпим към съставяне уравнението на т. нар. „обобщена сила”, т.е. сумата от моментите спрямо полюса  $O$  на всички външни сили и силите от триене в опорите, както следва:

$$(6) \sum_{i=1}^2 m_0(P_i) + \sum_{i=1}^2 m_0(\mu_i N_i) = Q_1 c - Y_1 \cdot c / \operatorname{tg} \gamma_1 - \mu_1 N_1 \cdot c / \sin \gamma_1 - \mu_2 N_2 \cdot c / \operatorname{tg} \gamma_1 > 0.$$

при което нормалните реакции  $N_1$  и  $N_2$  се определят от сумите от моментите на всички сили (външни, реакции и триещи) спрямо контактните точки  $A_1$  и  $A_2$ , т.е.

$$(7) \begin{cases} \sum_{i=1}^2 m_{A_1}(P_i) + \sum_{i=1}^2 m_{A_1}(N_i) + \sum_{i=1}^2 m_{A_1}(\mu_i N_i) = N_2 \cdot c - Q_2 \cdot c = 0 \\ \sum_{i=1}^2 m_{A_2}(P_i) + \sum_{i=1}^2 m_{A_2}(N_i) + \sum_{i=1}^2 m_{A_2}(\mu_i N_i) = Q_1 \cdot c - N_1 \cdot c \cdot \cos \gamma_1 - \mu_1 \cdot N_1 \cdot c \cdot \sin \gamma_1 = 0 \end{cases}$$

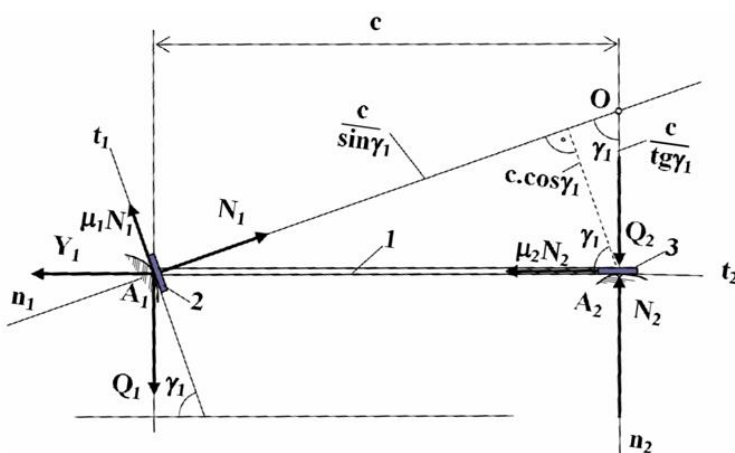
откъдето следва:

$$N_2 = Q_2, \quad N_1 = \frac{Q_1 \cdot c}{c \cdot \cos \gamma_1 + \mu_1 \cdot c \cdot \sin \gamma_1}, \text{ а при заместване на } N_1 \text{ и } N_2 \text{ в (6) получаваме}$$

$$Q_1 \left[ 1 - \frac{\mu_1}{\sin \gamma_1 \cdot (\cos \gamma_1 + \mu_1 \cdot \sin \gamma_1)} \right] - Y_1 \cdot \cot \gamma_1 - Q_2 \cdot \mu_2 \cdot \cot \gamma_1 \geq 0,$$

откъдето се получава граничната стойност на критерия  $Y_1/Q_1$  –

$$(8) \left( \frac{Y_1}{Q_1} \right)_I = \operatorname{tg} \gamma_1 \cdot \left[ 1 - \frac{\mu_1}{\sin \gamma_1 \cdot (\cos \gamma_1 + \mu_1 \cdot \sin \gamma_1)} \right] - \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \mu_2 \quad \mu_1 = \operatorname{tg} \rho_1 \text{ и } \mu_2 = \operatorname{tg} \rho_2$$



Фиг. 2 Изчислителна схема за извеждане на (9).

$$(9) \left( \frac{Y_1}{Q_1} \right)_I = \operatorname{tg}(\gamma_1 - \rho_1) - (Q_2/Q_1) \cdot \mu_2$$

Както се вижда, изразът (8) за граничната стойност на критерия срещу дерайлиране  $Y_1/Q_1$  е коренно различен от преждеполучения (5). Това различие донякъде потвърждава принципната разлика между методите за решаване на системите, приетите постановки и в крайна сметка самите системи.

След преобразувания получаваме:

или ако, в отличие на изчислителната схема (фиг. 2), приемем  $\gamma_2 \neq 0$ , основавайки се на (5), можем да заменим израза  $(Q_2/Q_1)\mu_2$  с  $(Q_2/Q_1).\text{tg}(\gamma_2 + \rho_2)$ , чрез което полученият резултат, съответстващ на  $\gamma_2 \neq 0$ , е

$$(10) \quad (Y_1/Q_1)_I = \text{tg}(\gamma_1 - \rho_1) - (Q_2/Q_1).\text{tg}(\gamma_2 + \rho_2).$$

Следователно, изразът (8) се преобразува в (9) и (10), който представлява крайния резултат на настоящето решение и съвпада с (5) от предното решение, извършено чрез принципно различен метод.

Полученият резултат се потвърждава с още по-голяма убедителност, при най-опростена трактовка на разполагаемите тук зависимости; например, изхождайки от:

$$(11) \quad Q.(\sin \beta - \mu.\cos \beta) > Y.(\cos \beta + \mu.\sin \beta)$$

при същите постановки, ако в дясната ѝ част (съдържаща съпротивителните сили в процеса на възвръщане на колооста към нормално положение), добавим съпротивителната сила от неатакуващото колело  $\sim \mu_2.Q_2$  (или  $Q_2.\text{tg}(\gamma_2 + \rho_2)$ ), от упоменатата междинна зависимост, изменена във вида, например –

$$Q_1.(\sin \gamma_1 - \mu_1.\cos \gamma_1) > Y_1.(\cos \gamma_1 + \mu_1.\sin \gamma_1) + \mu_2.Q_2,$$

и след разделяне на двете части с  $Q_1.(\cos \gamma_1 + \mu_1.\sin \gamma_1)$  и на числителя и знаменателя в така получената лява част – с  $\cos \gamma_1$ , получаваме окончателно:

$$(12) \quad (Y_1/Q_1)_I = \text{tg}(\gamma_1 - \rho_1) - (Q_2/Q_1).\mu_2/(\cos \gamma_1 + \mu_1.\sin \gamma_1), \text{ или}$$

$$(13) \quad (Y_1/Q_1)_I = \text{tg}(\gamma_1 - \rho_1) - (Q_2/Q_1).\text{tg}(\gamma_2 + \rho_2)/(\cos \gamma_1 + \mu_1.\sin \gamma_1)$$

Както се вижда от (12) и (13), тук полученият коригиращ член на граничната стойност на критерия срещу дерайлиране  $Y_1/Q_1$  действа в същата посока, както предните, т.е. – за намаляване на граничната стойност, но ефектът от действието му е значително по-силен – ориентирано с  $25 \div 50\%$  в зависимост от стойностите на параметрите  $\gamma_1$  и  $\mu_1$  съгласно зависимостта  $1/(\cos \gamma_1 + \mu_1.\sin \gamma_1)$ . Това различие между резултатите може да се обясни с различието между методите, чрез които са получени: защото тук при извеждане на (12) и (13) не се отчита, че възвръщащото преместване на колооста към нормалното положение представлява ротация; напротив, тя (ротацията) се отчита и дори има основополагаща роля при извеждане на (9) с прилагане на принципа на виртуалните премествания. Съществуват достатъчни основания да се счита за достоверна коригираната формула (9) и същата да се използва без уговорки.

Корекцията на граничната стойност на критерия срещу дерайлиране не бива да се счита за въпрос, подлежащ само на теоретични разглеждания, защото тя (корекцията или намаляването на граничната стойност) реално съществува независимо от състоянието на теорията и нашите схващания и, по-конкретно – защото корекцията се изразява в излизане на процеса „дерайлиране“ от фазата на безопасно движение и навлизане във фаза с по-висока степен на риска, при която атакуващото колело вече е загубило способността да се самовозвръща към нормално положение. А ролята и значението на теорията е вярно да отразява тези процеси с оглед предприемане на адекватни реакции, за да не се допуска нарушаване на изискванията за безопасността.

Освен това, корекцията на граничната стойност на критерия срещу дерайлиране  $Y_1/Q_1$  винаги, при всички условия, се изразява в намаляването ѝ, т.е. влошаване на изискванията за безопасност. И както се вижда от (9), стойността на корекцията  $\sim -\mu_2.Q_2/Q_1$  или  $-\text{tg}(\gamma_2 + \rho_2).Q_2/Q_1$  е пропорционална на отношението  $Q_2/Q_1$ , което означава че тя ще има нулеви стойности или просто ще липсва само при условието (нереализуемо, разбира се!), че няма неатакуващо колело или, че неговото вертикално натоварване  $Q_2 \rightarrow 0$ . Съвсем несъстоятелно, без каквато и да било аргументация битува твърдението, че корекцията или намаляването на граничната стойност на критерия  $Y_1/Q_1$  съществува само при разтоварване на атакуващото и претоварване на неатакуващото колело (т.е. при

стойност на отношението  $Q_2/Q_1 > 1$ ). Естествено, корекцията е по-голяма при  $Q_2/Q_1 > 1$  отколкото при  $Q_2/Q_1 < 1$ , но важното е, че тя съществува при всички реални условия и стойността ѝ се изменя непрекъснато в зависимост главно от скоростта на движение, радиуса на кривите и надвишението на външната релса. Тези фактори обуславят стойността на отношението  $Q_2/Q_1$ , което в реални условия на експлоатацията търпи най-съществени по амплитуда и най-чести промени.

Сравнително „консервативни“, т.е. с по-малка амплитуда и по-ниска честота на изменение са останалите фактори във формулата, отнасящи се за неатакуващото колело и съответно вътрешната релса, а именно: ъгълът на наклона на бандажния профил  $\gamma_2$  и коефициентът или ъгълът на триене  $\mu_2$  или  $\rho_2$  между главата на релсата и бандажа в повърхнината на търкаляне. За коефициента на триене може да се приеме сравнително ниска стойност  $\mu_2 = 0,25$  ( $\rho_2 \approx 14^\circ 2'$ ), която може да се счита и за постоянна в достатъчно широк спектър на експлоатационни условия; имайки предвид наклона на бандажния профил  $\gamma_2$  – който за новопрестъргани бандажи съгласно сега действащите норми на UIC е 1:40, а съгласно старите норми е 1:20 – стойността на израза  $\text{tg}(\gamma_2 + \rho_2) = 0,3037$ , но може да се закръгли на 0,3 и тя, ако се счита също за постоянна в сравнително широк спектър на експлоатационни условия, коригираната формула за граничната стойност на критерия срещу дерайлиране  $Y/Q$  с отчитане разпределението на вертикалните натоварвания на колелата чрез отношението  $Q_2/Q_1$  може да се запише – за общия случай – без уговорки (освен, ако е изрично упоменато) –

$$(14) (Y/Q)_I \approx (Y_1/Q_1)_I = \text{tg}(\gamma_1 - \rho_1) - (Q_2/Q_1) \cdot \text{tg}(\gamma_2 + \rho_2) \approx 1,20 - 0,25 \cdot (Q_2/Q_1)$$

където: 1,20 е граничната стойност на критерия  $Y/Q$ , фиксирана от UIC при изчислителни стойности на параметрите  $\gamma_1 = 70^\circ$  и  $\mu_1 = \text{tg}\rho_1 = 0,36$ .

В таблица 1 е дадена коригираната гранична стойност на критерия  $Y_1/Q_1 \approx Y/Q$  за сега действащия стандарт на UIC (при  $\gamma_1 = 70^\circ$  и  $\mu_1 = 0,36$ ) и стария стандарт (при  $\gamma_1 = 60^\circ$  и  $\mu_1 = 0,39$ ) при различни стойности на отношението  $Q_2/Q_1$  (0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0), съгласно формула (14).

Таблица 1 Коригирана гранична стойност на критерия срещу дерайлиране  $Y/Q$  за новия и стария бандажни профили в зависимост от колесното натоварване  $Q_1$  и  $Q_2$ .

Условия – нов и стар бандажен профил	Гранична стойност на критерия $(Y_1/Q_1)_I$ при стойности на $Q_2/Q_1$				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
Нов бандажен профил при $\gamma_1 = 70^\circ$ и $\mu_1 = 0,36$	1,20	1,05	0,90	0,75	0,60
Стар бандажен профил при $\gamma_1 = 60^\circ$ и $\mu_1 = 0,36$	0,80	0,65	0,50	0,35	0,20

От формула (14) и таблица 1 се вижда силното влияние на неатакуващото колело (респ. разпределението на натоварването между колелата) върху граничната стойност на критерия срещу дерайлиране  $Y/Q$ ; например, за действащия в момента стандарт на UIC докато без корекцията –  $(Q_2/Q_1) \cdot \text{tg}(\gamma_2 + \rho_2)$  – граничната стойност е 1,20, коригираната гранична стойност е снижена до 0,90 при  $Q_2/Q_1 = 1,0$  и до 0,60 при  $Q_2/Q_1 = 2$ ; далеч по-силно е влиянието на корекцията за стария стандарт на UIC: от 0,80 (без корекцията!) граничната стойност на критерия  $(Y/Q)_I$  се снижава до 0,50 при  $Q_2/Q_1 = 1$  и до 0,20 при  $Q_2/Q_1 = 2$ .

Имайки в предвид това драстично снижаване на граничната стойност  $(Y/Q)_I$  на критерия срещу дерайлиране, особено при ъгъл  $\gamma_1 = 60^\circ$ , заслужава да се обърне внимание на факта, че рязкото подобряване на сигурността срещу дерайлиране през осемдесетте години на миналия век в европейските железници се дължи главно на въведения тогава нов бандажен профил – известен като профил DB-2 (у нас БДЖ-2 [12]) – с ъгъл на образуващата на реборда  $\gamma_1 = 70^\circ$  на мястото на стария профил с ъгъл  $\gamma_1 = 60^\circ$ .

Към гореизложеното, вземайки под внимание още, че преобладаващите случаи на дерайлиране са при ниски скорости в криви с голямо надвишение на външната релса, т.е. при условия на значително „разтоварване“ на атакуващото колело за сметка на неатакуващото и големи стойности на отношението  $Q_2/Q_1$ , в заключение може да се каже, че резултатите от експлоатацията в европейските железници относно проблема „дерайлиране“ съответстват в задоволителна степен на резултатите от настоящите теоретични изследвания.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С цел адаптиране системата на Nadal към фактическите дадености, се дефинира и създава система (модел), наречена „условна“, която всъщност е преходна или междинна, изпълняваща генералното условие да стане по-близка към реалността в сравнение с Nadal-овата, но оставайки като нея също виртуална със следните главни особености:

- нововъведената система има 2 колела (атакуващо и неатакуващо) и към тях в контактните точки с релсите действат хоризонтални и вертикални сили съответно  $Y$  и  $Q$  с индекс „1“ за атакуващото и „2“ за неатакуващото колела; същите индекси са за параметрите  $\gamma$  и  $\mu$ ;

- силите са фактически действащи и съдържат добавките от действието на рамната сила  $Y_p$  (съществуваща при реалните системи!);

- критерият срещу дерайлиране в нововъведената система е отношението  $Y_1/Q_1$ , което се приема равностойно на международно утвърдения и Nadal-овия критерии, т.е. приема се  $Y_1/Q_1 \approx Y/Q$  с приемливо малко отклонение, като това приемане може да се потвърди, коригира или опровергае при достатъчни експериментално получени резултати;

- силите  $Y_2$  и  $Q_2$  в контактната точка на неатакуващото колело се третира не като самостоятелно действащи вектори, а по-скоро като множители или коефициенти в състава на триещата сила  $\mu_2 Q_2$ , бездименсионното отношение  $Q_2/Q_1$  и пр.

2. В новосъздадената условна система при извеждане на граничната формула за критерия срещу дерайлиране се получава, в отличие от Nadal-овата формула, допълнителен член с отрицателен знак  $-\text{tg}(\gamma_2 + \rho_2) \cdot Q_2/Q_1 \approx \mu_2 Q_2/Q_1$  (като  $\mu_2 = \text{tg}\rho_2$ , с който, както се вижда, се въвеждат нови параметри; спирайки се на параметъра  $Q_2/Q_1$ , с който, се отчита влиянието на неравномерността на колесното натоварване. Граничната стойност на критерия срещу дерайлиране под влияние на параметъра  $Q_2/Q_1$  винаги (изключвайки  $Q_2/Q_1 = 0$ ) се намалява, т.е. влошава се (с 20 – 25% при  $Q_2/Q_1 = 1$  и с 40 – 50% при  $Q_2/Q_1 = 2$ ).

3. Параметърът  $Q_2/Q_1$ , макар и „допълнително“ въведен, по отношение влиянието му върху резултатите се характеризира с изключително високата си значимост, превишаваща тази на другите параметри, изначално съдържащи се във формулата на Nadal, а от друга страна разглеждайки  $Q_2/Q_1$  като диагностичен параметър, въвеждането му в системата безспорно ще способства за нейното усъвършенстване по отношение идентифицираната и способност, чувствителността и управляемостта.

### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] EN 14363: Railway applications - Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Testing of running behaviour and stationary. EC For Standardization, 2005
- [2] UIC Code 518 OR: Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - Safety – Track fatigue-Ride quality, International Union of Railways, 2003
- [3] Nadal M. J.: Theorie de la stabilite des locomotives, Movement de Lacet, Annales des Mines, vol. 10, 1896, str. 232

- [4] Sobaś M.: Stan i doskonalenie kryteriów bezpieczeństwa przed wykolejeniem pojazdów szynowych, Pojazdy Szynowe nr 4, 2005, str. 1-13, Pojazdy Szynowe nr 2, 2006, str. 37-48
- [5] Raport ORE Frage B55: Sicherheit gegen Entgleisen von Güterwagen in Gleisverwindungen. Bericht Nr.8 ( Schlussbericht). Utrecht, April 1983
- [6] Raport ORE Frage C138: Zulässige Höchstwerte der Y-und Q-Kräfte und Entgleisungskriterien. 1986
- [7] Elkins J., Wu H.: New criteria for flange climb derailment, Railroad Conference, 2000. Proceedings of the 2000 ASME/IEEE Joint Volume , 1-7, 2000
- [8] Wu H., Shu X., Wilson N.: TCRP Report 71, Track-Related Research, Volume 5: Flange Climb Derailment Criteria and Wheel/Rail Profile Management and Maintenance Guidelines for Transit Operations, Transportation Research Board of the National Academies, 2005
- [9] Bizic M., D. Petrović, D. Stamenković BASICS OF EXPERIMENTAL DETERMINATION OF WHEEL-RAIL CONTACT FORCES USING INSTRUMENTED WHEELSETS, FACTA UNIVERSITATIS SERIES: Mechanical Engineering Vol. 1, N<sup>o</sup> 10, 2003, PP. 26 - 2
- [10] Bižić M., Petrović D., METHODOLOGIES OF EXPERIMENTAL DETERMINATION OF WHEEL-RAIL CONTACT FORCES The XVI Conference RAILCON '14, Niš, Serbia, 2014
- [11] Bižić M., D. Petrović, Tomić M. and Djinović Z. Development of method for experimental determination of wheel–rail contact forces and contact point position by using instrumented wheelset, Published 19.06.2017 Measurement Science and Technology, Vol. 28, No 7, 2018
- [12], „Инструкция за колооси на вагоните” – 1977 г.

## **ADAPTING THE NADAL CRITERIA TO FACTICAL EXPERIMENTALLY OBTAINED RESULTS**

**Dobrinka Borisova Atmadzhova**  
[atmadzhova@abv.bg](mailto:atmadzhova@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport, Sofia, 158 Geo Milev Str.*  
**BULGARIA**

***Key words:** rolling stock, wheel-rail contact forces, security against derailment, Nadal's criteria.*

***Abstract:** Following one of the main objectives set - the creation of a calculation method for determination of the security against derailment, which corresponds to the approved by BDS EN 14363 and UIC code 518 experimental method with the same purpose - it is necessary, as a first step in this direction, to adapt the Nadal virtual model to the real (factual) facts while preserving some of its fundamental prerequisites, first of all - one point. In such requirements calculation method is subject to a systematic improvement as authoritative assessment of its use in practice and its suitability may be given depending on the future development of the sufficient experimental results in quantity and quality. The adaptation in question is done through a dedicated model, which is closer to reality than Nadal's model, respectively of BDS EN 14363 and UIC code 518, taking into account as a parameter the ratio of the vertical load of the non-attacking to the attacking wheel on the wheelset. In the created conditional system, when defining the boundary formula for the derailment criterion, an additional article is introduced, with distinction from the Nadal's formula, with which new parameters are introduced. The limit value of the derailment criterion under the influence of the parameter takes into account the ratio of the vertical load of the attacking wheel to the non-attacking wheel from a single axle is reduced.*