



## **ГРАФИКИ НА ПРОЦЕСИТЕ, ПРОТИЧАЩИ ПРИ ДЕРАЙЛИРАНЕ ПО РАЗЛИЧНИ КРИТЕРИИ**

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

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

**Ключови думи:** подвижен железопътен състав, сигурност срещу дерайлиране, критерии срещу дерайлиране, схеми на линеен график.

**Резюме:** В статията е извършен анализ върху критериите на Nadal -  $Y/Q$ , номиналния критерий -  $Y_p/Q'_1$  и критерия срещу дерайлиране -  $Y_1/Q_1$ , които дават възможност за разкриване и обясняване на сложния процес на дерайлиране, като се акцентрира главно върху баланса (или дисбаланса) между силите, действащи при този процес и определящи I-то и II-то гранични състояния и 3-те характерни зони – на безопасността, застоя и дерайлирането. Силовите функции са приведени в безразмерен вид. Представени са схеми на линеен график на процесите, протичащи при дерайлирането по различни критерии срещу дерайлиране. Въз основа на визуалното графично представяне на процесите на дерайлиране се създават допълнителни възможности за разкриване на важни свойства и зависимости, свързани с дерайлирането. Отчита се влиянието на неравномерността на колесното натоварване. Благодарение на приложените линейни графики са разкрити някои важни свойства и зависимости. Доказва се, че височината на приложената към атакуващата колоос рамна сила оказва извънредно силно влияние върху стойността на критерия за II-то гранично равновесие, като, при увеличаването на височината само с ~ 30% стойността на критерия при II-то гранично равновесие се увеличава около 4,5 пъти, което е сигурно указание, че разсейването на резултатите в последната фаза (на дерайлирането) ще нараства значително.

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

При извеждането на формулата на Nadal [1, 2] се изхожда от приповдигнато положение на атакуващото колело, така че контактуването му с релсата да се осъществява чрез реборда в коничната му зона и от условието то да бъде в състояние да се възвърне към нормалното си положение върху релсата под действието на приложените към него сили: а те са резултатните сили  $Q$  и  $Y$  – съответно във вертикално и хоризонтално напречно направление.

Изискването за възвръщане на атакуващото колело, т.е. за движение „надолу“, може да се изрази със следното неравенство:

$$(1) \frac{Y}{Q} < \frac{\operatorname{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg}\beta} \text{ или } \frac{Y}{Q} \leq \operatorname{tg}(\beta - \rho), \text{ като } \rho = \operatorname{arctg}\mu$$

където:  $Y$  и  $Q$  са съответно хоризонталната напречна сила и вертикалното натоварване, предавани от атакуващото колело върху релсата в контактната точка;  $\beta$  – ъгълът на наклона на образуващата на реборда в правата му част или в инфлексната точка (ако няма права част);  $\mu$  и  $\rho$  – съответно коефициент на триене и ъгъл на триене между реборда и релсата.

Полученото неравенство (1), определя цяла област от стойности на отношението  $Y/Q$ , при която безопасността срещу дерайлиране е гарантирана.

Зависимостта  $(Y/Q)_{Б-Т} \equiv (Y/Q)_I$ , по същество е гранична стойност, т.нар.  $I^{ва}$  гранична стойност – определяща границата между зоните на безопасността „Б” и зоната на триенето „Т” (или застой) [3]. При най-малкото увеличаване стойността на отношението  $Y/Q$  спрямо граничната му стойност  $(Y/Q)_{Б-Т} \equiv (Y/Q)_I$  системата навлиза в зоната „триене“ (или „застой“, „безразлично равновесие“), която продължава (заедно с по-нататъшното увеличаване на  $Y/Q$ ) до достигане на следващото ( $\Pi^{po}$ ) гранично състояние – между зоната на триенето и зоната на дерайлирането.

Неравенството:

$$(2) \frac{Y}{Q} > \frac{\operatorname{tg}\beta + \mu}{1 - \mu \cdot \operatorname{tg}\beta} \text{ или } \frac{Y}{Q} > \operatorname{tg}(\beta + \rho), \text{ като } \rho = \operatorname{arctg}\mu$$

определя цяла зона (област) от стойности на отношението  $Y/Q$ , при която настъпва изтласкване реборда на атакуващото колело върху релсата в посока „нагоре”, т.е. дерайлиране.

Граничното състояние между зоните на триене „Т” и дерайлиране „Д”, естествено, ще се определи като състояние на  $\Pi^{po}$  гранично равновесие и ще се изрази както следва:  $(Y/Q)_{Т-Д} \equiv (Y/Q)_{II}$ , като се характеризира с една единствена стойност на отношението, определена от параметрите  $\beta$  и  $\mu$  съгласно формулата на Nadal.

## 2. ГРАФИКИ НА ПРОЦЕСИТЕ, ПРОТИЧАЩИ ПРИ ДЕРАЙЛИРАНЕ ПО КРИТЕРИЯ НА NADAL

За да се анализират протичащите процеси, свързани с дерайлирането е необходимо разглеждането на равновесието (баланса) или дисбаланса между действащите сили: активната сила, която се стреми да възвърне в нормално положение атакуващото колело – от една страна и от друга – силата от сухо триене, която се стреми да задържи колелото в критично състояние на реборда му върху ръба на релсата, плюс активната сила, която се стреми да изтласка навън (т.е. да дерайлира) колелото. Характерното тук е обособяването на действащите сили в две групи:

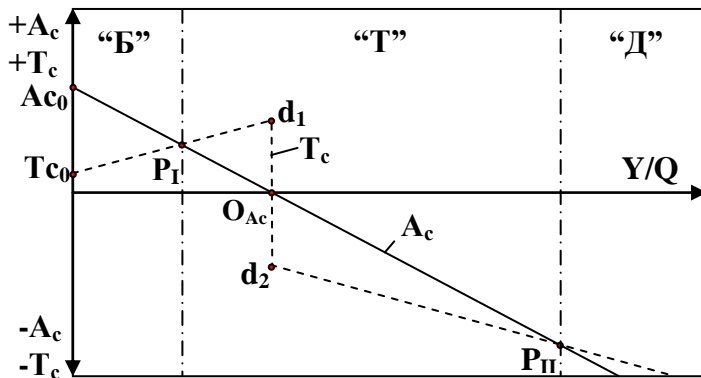
$$(3) A = Q \cdot [\sin\beta - (Y/Q) \cdot \cos\beta] - \text{групата активни сили, означена с } A;$$

$$(4) T = \mu \cdot Q [\cos\beta + (Y/Q) \cdot \sin\beta] - \text{групата сили от сухо триене, означена с } T.$$

Силовите групи  $A$  и  $T$  са коренно различни по природа и между тях съществува изключително сложно взаимодействие, което определя характера на протичащите процеси. С цел улесняване на тяхното изследване, както и универсализиране на зависимостите и получените резултати, приемаме да се работи с безразмерни (бездименсионни) величини и математически изрази. За целта съкращавайки силовите групи с  $Q$ , получаваме като безразмерни величините  $A_c$  и  $T_c$ , назовани съответно: „специфична активна сила“ и „специфична триеща сила“ или „специфична сила  $A_c$ “ и „специфична сила  $T_c$ “; като определението „специфична“ (или „относителна“) е оправдано дотолкова, доколкото  $A_c$  и  $T_c$  всъщност представляват относителния дял на реалната сила (респ. силова група)  $A$  или  $T$  спрямо вертикалната сила  $Q$ .

Тъй като специфичните сили  $A_c$  и  $T_c$  са линейни функции на критерия  $Y/Q$ , за построяване схемата или диаграмата на процесите, свързани с дерайлирането, са необходими координатите на две или три точки, или повече възлови точки за протичащите процеси, а именно (вж. фиг.1): за силата  $A_c$  – т. №№  $A_{c0}$ ,  $P_I$ ,  $O_{Ac}$ ,  $P_{II}$  и за силата  $T_c$  – т. №№  $T_{c0}$ ,  $P_I$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $P_{II}$ .

При построяване на линейния график с абсциса  $Y/Q$  и ордината  $A_c$  и  $T_c$  особено следва да се съблюдава равновесните точки  $P_I$  и  $P_{II}$  съответно на I – то и II – то гранично равновесие (когато  $A_c = T_c$ ) и точките  $O_{Ac}$ ,  $d_1$  и  $d_2$ , където  $A_c$  се анулира и променя посоката на действието си и заедно с това променя скокообразно триещата сила  $T_c$ , която заема същата абсолютна стойност (която е достигната при т.



която е достигната при т.  $d_1$ ), но с обратен т.е. отрицателен знак и по-нататък продължава хода си съгласно уравнението с обратен знак на първоначалната положителна функция  $T_c = \mu \cdot (\cos\beta + Y/Q \cdot \sin\beta)$ .

При построяване на линейния график абсцисата  $Y/Q$  и ордината  $A_c$  или  $T_c$  се определят координатите на възловите точки при конкретно зададени стойности на параметрите  $\beta$  и  $\mu$ .

Фиг. 1. Схема на линейния график на процесите, протичащи при дерайлирането. („Б” – зона безопасност; „Т” – зона триене; „Д” – зона дерайлиране)

Например за:

-  $\beta = 60^\circ$  и  $\mu = 0,30$ .

$A_{c0}(0; 0,866)$ ;  $P_I(0,942)$ ;  $O_{Ac}(1,732; 0)$ ;  $P_{II}(-4,230; 1,249)$ ;

$T_{c0}(0; 0,15)$ ;  $P_I(0,942)$ ;  $d_1(1,732; 0,6)$ ;  $d_2(1,732; -0,6)$ ;  $P_{II}(4,230; 1,249)$ ;

-  $\beta = 70^\circ$  и  $\mu = 0,25$ .

$A_{c0}(0; 0,94)$ ;  $P_I(1,48; 0,43)$ ;  $O_{Ac}(2,75; 0)$ ;  $P_{II}(-9,57; -2,33)$ ;

$T_{c0}(0; 0,085)$ ;  $P_I(1,48; 0,43)$ ;  $d_1(2,75; 0,73)$ ;  $d_2(2,75; -0,73)$ ;  $P_{II}(9,57; -2,33)$ .

Продължителността на триене „Т“, т.е. разликата между  $I^{TO}$  и  $II^{TO}$  гранично състояние се изменя в широки граници. За намиране на теоретична зависимост, даваща отговор на този въпрос е логично да се намери разликата между  $(Y/Q)_{II}$  и  $(Y/Q)_I$  [4].

Крайният резултат от това решение е:

$$(5) \left( \frac{Y}{Q} \right)_{II} - \left( \frac{Y}{Q} \right)_I = 2 \cdot \mu \cdot \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \beta}{1 - \mu^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta}$$

т.е. показва, че разликата между двете гранични състояния (или продължителността на зоната „застой“) силно нараства с увеличаване наклона на образуващата на реборда  $\beta$  и стойността на коефициента на триене  $\mu$ . При  $\beta = 60^\circ$  и  $\mu = 0,30$  разликата се получава 3,288. При  $\mu = 0$  продължителността на зоната „триене“ се анулира, т.е. липсва тази зона. Освен това, при  $1 - \mu^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta = 0$  продължителността на зоната „застой“ нараства до безкрайност при различни стойности на  $\mu$  и  $\beta$ , което поражда много въпроси.

Продължителността на зоната „застой“ не се изразява с времето (напр. в секунди), а с критерия  $Y/Q$ , който представлява независима променлива или аргумент на силовата функция на процеса „дерайлиране“. Освен това, продължителността на зоната „застой“ (или „триене“) се свързва обикновено със свойството (или способността) „съпротивляемост“ на протичането на процеса. От анализа на изразите, използвани при извеждане на формулите за  $I^{TO}$  и  $II^{TO}$  гранично равновесие, т.нар. „съпротивляемост“ затруднява процеса на възвръщане колелото към нормално

положение от  $\Gamma^{\text{TO}}$  гранично равновесие, но затруднява и дерайлирането. И понеже съпротивляемостта е пряко зависима от триенето, естествено произтича изводът за двойствената роля на триенето – а именно, че то за зоната „безопасност“ е вредно, а за зоната „дерайлиране“ – полезно.

## 2. ГРАФИКИ НА ПРОЦЕСИТЕ, ПРОТИЧАЩИ ПРИ ДЕРАЙЛИРАНЕ ПО НОМИНАЛНИЯ КРИТЕРИЙ $Y_p/Q'_1$

Условието за безопасност срещу дерайлиране на подвижния железопътен състав (ПЖПС) е удовлетворено, ако номиналният критерий срещу дерайлиране  $Y_p/Q'_1$ , определен от хоризонталната раменна сила  $Y_p$  и вертикалната сила в контакта „колелорелса“ на атакуващото колело  $Q'_1$ , заема стойности, които са по-малки, или в краен случай, равни на стойността на дясната част на следното неравенство:

$$(6) \frac{Y_p}{Q'_1} < \frac{1 - \mu_1 / [\sin \gamma_1 (\cos \gamma_1 + \mu_1 \sin \gamma_1)] - (Q'_2 / Q'_1) \cdot (\mu_2 / \operatorname{tg} \gamma_1)}{\cot \gamma_1 - h/c + (\mu_1 \cdot h/c) / [\sin \gamma_1 (\cos \gamma_1 + \mu_1 \sin \gamma_1)] - (\mu_2 \cdot h/c) / \operatorname{tg} \gamma_1},$$

където:  $\gamma_1$  - ъгъл на наклона на контактната точка спрямо хоризонталата;  $\mu_1$  и  $\mu_2$  - съответно коефициент на триене между реборда и релсата за атакуващо и неатакуващо колело от една колоос;  $Q'_2/Q'_1$  - разпределение на колесното вертикално натоварване и  $h/c$  – отношение на височината на приложение на „рамна сила“ към полуразстоянието на контактните точки от една колоос.

Дясната част на неравенство (6) е определена главно от конструктивни параметри (бандажния профил и височината  $h$ ) и от разпределение на колесното натоварване  $Q'_2/Q'_1$ ; а от своя страна стойността на дясната част на (6), определя  $\Gamma^{\text{TA}}$  гранична стойност на критерия срещу дерайлиране, означена с  $(Y_p/Q'_1)_I$  и представляваща граница между безопасното състояние срещу дерайлиране (характеризиращо се със способността за самовъзвръщане на колооста към нормално положение) и състоянието на застой (триене), характеризиращо се със загубване на тази способност.

Процесите при дерайлиране, представени като функции на  $Y_p/Q'_1$ , могат да бъдат описани с по-голяма нагледност чрез линеен график по силови функции  $A_c$  и  $T_c$ :

$$(7) A_c = 1 - p \cdot Y_p / Q'_1; \text{ и } T_c = q \cdot Y_p / Q'_1 + r, \text{ където: } p = \cot \gamma_1 - h/c;$$

$$q = \frac{\mu_1 \cdot h/c}{\sin \gamma_1 (\cos \gamma_1 + \mu_1 \cdot \sin \gamma_1)} - \frac{\mu_2 \cdot h/c}{\operatorname{tg} \gamma_1} \text{ и } r = \frac{\mu_1}{\sin \gamma_1 (\cos \gamma_1 + \mu_1 \cdot \sin \gamma_1)} + \frac{Q'_2}{Q'_1} \cdot \frac{\mu_2}{\operatorname{tg} \gamma_1}.$$

Координатите на точката на  $\Gamma^{\text{TO}}$  гранично равновесие са:  $P_I[(1-r)/(p+q); 1-p \cdot Y_p/Q'_1]$ , а на  $\Pi^{\text{TO}}$  гранично равновесие:  $P_{II}[(1-r)/(p+q); 1-p \cdot (1+r)/(p-q)]$ .

В таблици 1 и 2 са дадени резултатите от изчисленията на координатите на възловите точки, за следните параметри: ъгъл на наклона на образуващата на реборда на атакуващото колело  $\gamma_1 = 60^\circ$ , коефициент на триене „реборд-релса“ за атакуващото колело  $\mu_1 = 0,30$ , коефициент на триене „бандаж-релса“ за неатакуващото колело  $\mu_2 = 0,25$ ; при вариране на отношението между вертикалните натоварвания на неатакуващото и атакуващото колело  $Q'_2/Q'_1$  (0,5; 0,66; 1; 1,5; 2) и височината  $h$  на директрисата на рамната сила  $Y_p$  ( $h = 460 \text{ mm}$  и  $h = 600 \text{ mm}$ ).

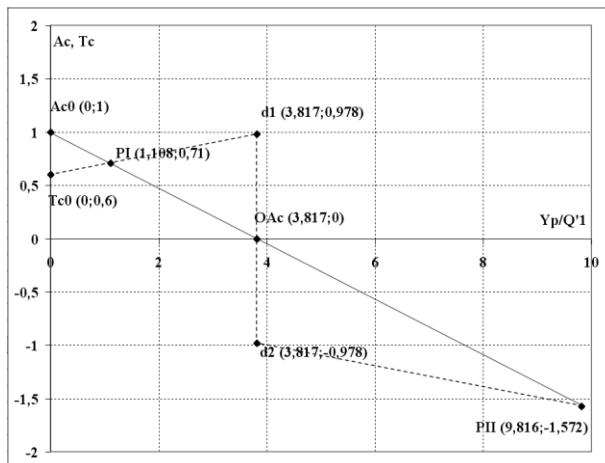
По данните от таблици 1 и 2, височината  $h$  на приложената към атакуващата колоос рамна сила  $Y_p$  оказва извънредно силно влияние върху стойността на критерия  $Y_p/Q'_1$  за  $\Pi$ -то гранично равновесие; като, например, при увеличаване на височината  $h$  само с  $\sim 30\%$  стойността на критерия при  $\Pi$ -то гранично равновесие  $(Y_p/Q'_1)_{II}$  се увеличава около 4,5 пъти, което показва, че разсейването на резултатите в последната фаза (на дерайлирането) ще нараства драстично.

Таблица 1 Координати ( $Y_p/Q'_1$ ;  $A_c$ ,  $T_c$ ) на възлови точки от линейния график при  $\gamma_1 = 60^\circ$ ,  $\mu_1 = 0,30$ ,  $\mu_2 = 0$ ,  $h = 460 \text{ mm}$  и различни стойности на  $Q'_2/Q'_1$ .

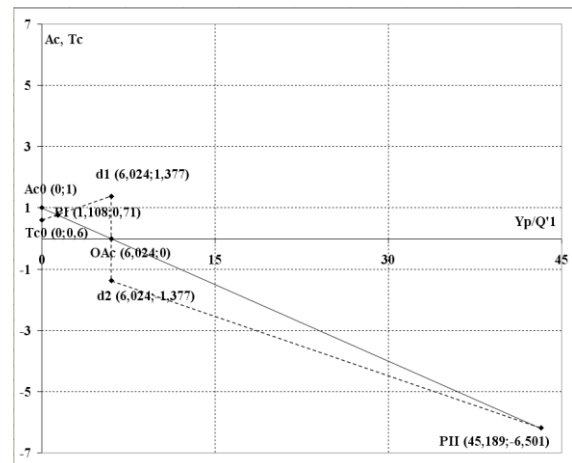
При $h=460\text{mm}$	Възлови точки	При различни стойности на $Q'_2/Q'_1$				
		0,5	0,66	1	1,5	2
	$A_{c0}$	0; 1	0; 1	0; 1	0; 1	0; 1
	$T_{c0}$	0; 0,528	0; 0,552	0; 0,6	0; 0,672	0; 0,744
	$P_I$	1,307; 0,657	1,241; 0,675	1,108; 0,710	0,908; 0,762	0,709; 0,814
	$O_{Ac}$	3,817; 0	3,817; 0	3,817; 0	3,817; 0	3,817; 0
	$d_1$	3,817; 0,906	3,817; 0,930	3,817; 0,978	3,817; 1,050	3,817; 1,122
	$d_2$	3,817; -0,906	3,817; -0,930	3,817; -0,978	3,817; -1,050	3,817; -1,122
	$P_{II}$	9,374; -1,456	9,521; -1,494	9,816; -1,572	10,258; -1,687	10,699; -1,803

Таблица 2 Координати ( $Y_p/Q'_1$ ;  $A_c$ ,  $T_c$ ) на възлови точки от линейния график при  $\gamma_1 = 60^\circ$ ,  $\mu_1 = 0,30$ ;  $\mu_2 = 0,25$ ,  $h = 600 \text{ mm}$  и различни стойности на  $Q'_2/Q'_1$ .

При $h=600\text{mm}$	Възлови точки	При различни стойности на $Q'_2/Q'_1$				
		0,5	0,66	1	1,5	2
	$A_{c0}$	0; 1	0; 1	0; 1	0; 1	0; 1
	$T_{c0}$	0; 0,528	0; 0,552	0; 0,6	0; 0,672	0; 0,744
	$P_I$	1,6; 0,734	1,519; 0,748	1,4; 0,77	1,14; 0,816	0,96; 0,872
	$O_{Ac}$	6,024; 0	6,024; 0	6,024; 0	6,024; 0	6,024; 0
	$d_1$	6,024; 1,305	6,024; 1,329	6,024; 1,377	6,024; 1,449	6,024; 1,521
	$d_2$	6,024; -1,305	6,024; -1,329	6,024; -1,377	6,024; -1,449	6,024; -1,521
	$P_{II}$	41,297; -5,855	41,946; -5,963	43,243; -6,178	45,189; -6,501	47,135; -6,824



Фиг. 2. Линеен график на процесите при дерайлиране, при  $\gamma_1 = 60^\circ$ ;  $\mu_1 = 0,30$ ;  $\mu_2 = 0,25$  и стойност на  $Q'_2/Q'_1 = 1$  и  $h=460 \text{ mm}$ .



Фиг. 3. Линеен график на процесите при дерайлиране, при  $\gamma_1 = 60^\circ$ ;  $\mu_1 = 0,30$ ;  $\mu_2 = 0,25$  и стойност на  $Q'_2/Q'_1 = 1$  и  $h=600 \text{ mm}$ .

### 3. ГРАФИКИ НА ПРОЦЕСИТЕ, ПРОТИЧАЩИ ПРИ ДЕРАЙЛИРАНЕ ПО КОРИГИРАН КРИТЕРИЙ НА NADAL, ОТЧИТАЩ РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА КОЛЕСНОТО ВЕРТИКАЛНО НАТОВАРВАНЕ

Корекцията на граничната стойност на критерия срещу дерайлиране на Nadal, отчитащ разпределението на колесното вертикално натоварване -  $Y_1/Q_1$  не бива да се счита за въпрос, подлежащ само на теоретични разглеждания, защото 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 самовъзвръща към нормално положение.

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. Стойността на корекцията е пропорционална на

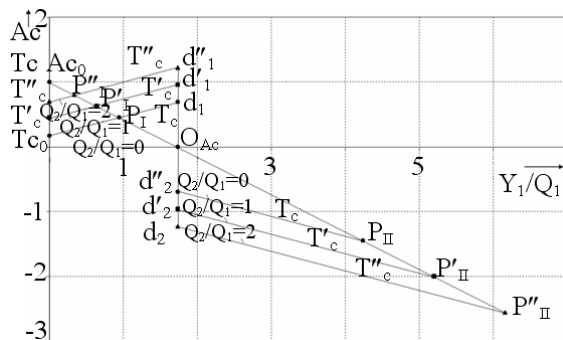
отношението  $Q_2/Q_1$ , което означава че тя ще има нулеви стойности или просто ще липсва само при условието (нереализуемо, разбира се!), че няма неатакуващо колело или, че неговото вертикално натоварване  $Q_2 \rightarrow 0$ . Съвсем несъстоятелно, без каквато и да било аргументация битува твърдението, 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.

Зависимостта за коригираната  $\Gamma^{ba}$  гранична стойност на критерия  $Y/Q$  е:

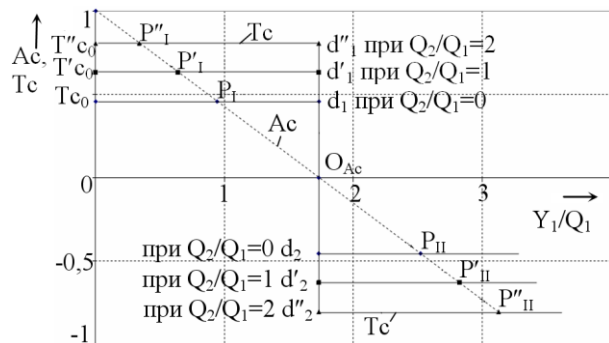
$$(8) \left(\frac{Y}{Q}\right)_I \approx \left(\frac{Y_1}{Q_1}\right) = \text{tg}(\gamma_1 - \rho_1) - \frac{Q_2}{Q_1} \text{tg}(\gamma_2 + \rho_2), \text{ като } \rho_1 = \text{arctg}\gamma_1 \text{ и } \rho_2 = \text{arctg}\gamma_2.$$

$$(9) \left(\frac{Y_1}{Q_1}\right) = \text{tg}(\gamma_1 - \rho_1) - \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{\text{tg}(\gamma_2 + \rho_2)}{(\cos \gamma_1 + \mu_1 \cdot \sin \gamma_1)}$$

Линейният график за целия процес на дерайлиране е даден на фиг. 3 с абсциса (текуща координата)  $Y_1/Q_1$  и ординати  $A_c$  и  $T_c$ , като последните, поместени съответно в лявата и дясната част на същите зависимости, представляват съответно активната  $A_c$  и триещата  $T_c$  група сили, т.е.  $A_c = 1 - (Y_1/Q_1) \cdot \text{cotg}\gamma_1$  и  $T_c = (Y_1/Q_1) \cdot \mu_1 + \mu_1 \cdot \text{cotg}\gamma_1 + (Q_2/Q_1) \cdot \text{tg}(\gamma_2 + \rho_2) \cdot (\text{cotg}\gamma_1 + \mu_1)$ , а отношението  $Q_2/Q_1$  е варирано както следва:  $Q_2/Q_1 = 0$ ;  $Q_2/Q_1 = 1$ ;  $Q_2/Q_1 = 2$ .



Фиг. 4. Общ линейен график, обхващащ целия процес на дерайлиране при вариране на  $Q_2/Q_1$ .



Фиг. 5. Общ линейен график, при:  $\gamma_1 = 60^\circ$ ;  $\mu_1 = 0,30$ ;  $\text{tg}(\gamma_2 + \rho_2) = 0,3037$  и вариране на  $Q_2/Q_1$ .

Изчислените координати на възловите точки за построяване на линейен график са дадени в таблица 3.

Таблица 3. Координати на възловите точки за построяване на линейния график, представен на фиг. 4.

Група сили	Отношение $Q_2/Q_1$	Координати (абсциса $Y_1/Q_1$ и ординати $A_c$ и $T_c$ ) на възловите точки $A_{c0}$ , $T_{c0}$ , $P_1$ , $O_{Ac}$ , $d_1$ , $d_2$ , $P_{II}$ ...			
$A_c$	0	$A_{c0}(0;1)$	$P_1(0,943;0,456)$	$O_{Ac}(1,733;0)$	$P_{II}(4,235;-1,443)$
$T_c$	0	$T_{c0}(0;0,173)$	$P_1(0,943;0,456)$	$d_{1,2}(1,733;\pm 0,693)$	$P_{II}(4,235;-1,443)$
$T'_c$	1	$T'_{c0}(0;0,640)$	$P'_1(0,640;0,631)$	$d'_{1,2}(1,733;\pm 0,959)$	$P'_{II}(5,195;-1,997)$
$T''_c$	2	$T''_{c0}(0;0,705)$	$P''_1(0,336;0,806)$	$d''_{1,2}(1,733;\pm 1,225)$	$P''_{II}(6,155;-2,551)$

Тъй като състоянието на  $\Gamma^{to}$  гранично равновесие означава равенство между активната и триещата група сили, т.е.  $A_c = T_c$ , от така образуваното уравнение може да се определи неизвестната абсциса на точка  $P_1$  от линейния график или  $(Y_1/Q_1)_I = 0,943$ , докато от известната формула  $(Y_1/Q_1)_I = (\text{tg}\gamma_1 - \mu_1) / (1 + \mu_1 \cdot \text{tg}\gamma_1)$  се получава  $(Y_1/Q_1)_I = 0,942$  – със закръгляне в 3-та цифра след десетичния знак. По същия начин, при  $Q_2/Q_1 = 1$  и

$Q_2/Q_1 = 2$ , при тези отношения са определени стойностите на  $(Y_1/Q_1)_I$  т.е. абсцисите на точки  $P'_I$  и  $P''_I$  (вж. 3<sup>-ти</sup> и 4<sup>-ти</sup> ред от табл. 3 при  $Q_2/Q_1 = 1$  и  $Q_2/Q_1 = 2$ ); почти същите стойности (със закръгление 0,001) се получават при по-точната стойност на коефициента пред  $Q_2/Q_1$ , равна на 0,3037.

Например, както се вижда от таблици 3 и 4 за координатите на възловите точки на линейните графици за двата примера, I-та гранична стойност  $(Y_1/Q_1)_I$  (т.е. абсцисата на т.  $P_I$ ) е напълно еднаква както при  $Q_2/Q_1 = 0, 1$  и  $2$ , независимо от различния вид на аналитичните зависимости и линейните графици и от метода за определяне чрез директната формула  $(Y_1/Q_1)_I = (\text{tg}\gamma_1 - \mu_1)/(1 + \mu_1 \cdot \text{tg}\gamma_1)$  или чрез линейния график; т.нар. „стъпка на I-та гранична стойност” (или разликата между две съседни гранични стойности през  $Q_2/Q_1 = 1$ ), е еднаква за двата примера; II-та гранична стойност е различна за двата примера, като за втория определянето ѝ е възможно само чрез линейния график и при това стойността ѝ  $(Y_1/Q_1)_{II} = 2,523$  е почти два пъти по-ниска в сравнение с тази от първия пример. Освен това, така наречената „стъпка на II-та гранична стойност” е коренно различна за двата примера, като за втория е нормална, а за първия пример е около 3 пъти по-голяма.

Таблица 4. Координати на възловите точки за построяване на линейния график, представен на фиг. 5.

Група сили	Отношение $Q_2/Q_1$	Координати (абсциса $Y_1/Q_1$ и ордината $A_c$ и $T_c$ ) на възловите точки $A_{c0}, T_{c0}, P_I, O_{Ac}, d_1, d_2, P_{II} \dots$			
$A_c$	0	$A_{c0}(0;1)$	$P_I(0,943;0,456)$	$O_{Ac}(1,733;0)$	$P_{II}(2,523;-0,456)$
$T_c$	0	$T_{c0}(0;0,456)$	$P_I(0,943;0,456)$	$d_{1,2}(1,733;\pm 0,456)$	$P_{II}(2,523;-0,456)$
$T'_c$	1	$T'_{c0}(0;0,631)$	$P'_I(0,640;0,631)$	$d'_{1,2}(1,733;\pm 0,631)$	$P'_{II}(2,827;-0,631)$
$T''_c$	2	$T''_{c0}(0;0,806)$	$P''_I(0,336;0,806)$	$d''_{1,2}(1,733;\pm 0,806)$	$P''_{II}(3,130;-0,806)$

Заслужава да се обърне внимание на значителното понижаване на I-та гранична стойност в резултат на „разтоварване” на атакуващото колело, т.е. при по-високи стойности на отношението  $Q_2/Q_1$  както се вижда от зависимостите (8), (9) и др., от табл. 3 и 4 и от построените линейни графици.

Например за двата случая I-та гранична стойност  $(Y_1/Q_1)_I$  или т.т.  $P_I, P'_I, P''_I$  в графика от  $(Y_1/Q_1)_I = 0,943$  при  $Q_2/Q_1 = 0$  се намалява на  $(Y_1/Q_1)_I = 0,336$  при  $Q_2/Q_1 = 2$ , т.е.  $\sim 3$  пъти.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Отделено е внимание за анализ и разсъждения върху критериите на Nadal -  $Y/Q$ , номиналният критерий -  $Y_p/Q'_1$  и критерия срещу дерайлиране -  $Y_1/Q_1$  (коригиращ критерия на Nadal), които дават възможност за разкриване и обясняване на сложния процес на дерайлиране, като се акцентира главно върху баланса (или дисбаланса) между силите, действащи при този процес и определящи I<sup>-то</sup> и II<sup>-то</sup> гранични състояния и 3-те характерни зони – на безопасността, застоя и дерайлирането. Силовите функции са приведени в безразмерен вид с цел улесняване на процедурите и универсализиране на изразите и получените резултати.

3. Въпреки сложността на силовите функции, са представени графично като линеен график и благодарение на нагледното графично представяне на процесите при дерайлирането се създават допълнителни възможности за разкриване на важни свойства и зависимости, свързани с дерайлирането.

2. При посочените обстоятелства, свързани с многофакторното влияние върху процесите на дерайлиране, благодарение на приложените линейни графици са разкрити някои важни свойства и зависимости, както следва:

- доказва се, че височината  $h$  на приложената към атакуващата колоос рамна сила  $Y_p$  оказва извънредно силно влияние върху стойността на критерия  $Y_p/Q'_1$  за II-то гранично равновесие; като, например, при увеличаване на височината  $h$  само с  $\sim 30\%$

стойността на критерия при II-то гранично равновесие ( $Y_p/Q'_1$ )<sub>II</sub> се увеличава около 4,5 пъти, което е сигурно указание, че разсейването на резултатите в последната фаза (на дерайлирането) ще нараства драстично;

- доказва се, че методът за определяне на II-та гранична стойност на критерия срещу дерайлиране, е чрез търсене на абсцисата на пресечната точка на силовите функции  $A_c$  и  $T_c$ .

3. Отчита се влиянието на неравномерността на колесното натоварване, но освен това, самата гранична стойност на критерия срещу дерайлиране под влияние на параметъра  $Q_2/Q_1$  винаги (изключвайки  $Q_2/Q_1 = 0$ ) се намалява (с 20 – 25% при  $Q_2/Q_1 = 1$  и с 40 – 50% при  $Q_2/Q_1 = 2$ ).

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Nadal M. J.: Theorie de la stabilite des locomotives, Movement de Lacet, Annales des Mines, vol. 10, 1896, str. 232

[2] Luisa-Izabel DUNGAN NOȚIUNI GENERALE PRIVIND SIGURANȚA CONTRA DERAIERII, Universitatea „Politehnica” din Timișoara, Buletinul AGIR nr. 1-2/2009, aprilie-septembrie p.117-122

[3] Атмаджова Д. ПРИВЕЖДАНЕ В НОМИНАЛЕН ВИД НА КРИТЕРИЯ ПРОТИВ ДЕРАЙЛИРАНЕ НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИ ВОЗИЛА НК с международно участие BulTrans-2017 на ТУ-София, Созопол 11-13 Септември, 2017

[4] Atmadzhova D. PROCESSES AND DEPENDENCIES RELATED TO NADAL'S FORMULA IX International Scientific Conference HEAVY MACHINERY 2017, Zlatibor, Serbia, 2017, pp.E7-E16

## CONVERSION GRAPHICS PROCESS REALIZATION DERAILMENT BY DIFFERENT CRITERIA

**Dobrinka Atmadzhova**

[atmadzhova@abv.bg](mailto:atmadzhova@abv.bg)

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

**Key words:** *rolling stock, safety against derailment, criterias against derailment, graphics process.*

**Abstract:** *The paper analyzes the Nadal -  $Y/Q$  criteria, the nominal criterion -  $Y_p/Q'_1$  and the criterion against derailment -  $Y_1/Q_1$ , which enable the disclosure and explanation of the complex derailment process, on the balance (or imbalance) between the forces operating in this process and defining the 1st and 2nd border states and the 3 characteristic areas of safety, friction and derailment. The functions of the forces are brought into dimensionless form. Presented are diagrams of linear scheduling processes in the derailment on various criteria against derailment. Based on the visual graphical representation of the derailment processes, additional possibilities are created to reveal important properties and dependencies associated with derailment. The influence of the unevenness of the wheels load is reported. By the appended line graphs are disclosed some important properties and dependencies. It turns out that the height of the force applied to the collision force axle exerts an extremely strong influence on the value of the criterion for the 2nd boundary equilibrium, as with the increase of the height by only 30%, the value of the criterion at the 2nd border equilibrium increases about 4.5 times, which is a sure indication that the dissipation of results in the final phase (derailment) will increase significantly.*