

## **МОДЕЛИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ ХОДОВАТА ЧАСТ НА ЖЕЛЕЗОПЪТЕН ПОДВИЖЕН СЪСТАВ ПРИ ДВИЖЕНИЕТО МУ В КРИВА**

**Добринка Атмаджова**

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

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

***Ключови думи:** железопътен подвижен състав, ходова част, квазистатично вписване*

***Резюме:** В статията са разработени теоретични модели за изследванията на хоризонталните връзки в ходовата част на железопътния подвижен състав, чрез които да се разработят адекватни технически решения (схеми на връзките и конструктивни разработки на същите), предназначени за модернизация и изграждане на нови изделия. Числените експерименти по изложените модели показват приложимостта на моделите за определяне характеристиките на пътническа талига тип GP200 и възможността за нейната оптимизация.*

### **1. Увод**

Съществуващите в специализираната литература модели за квазистатично вписване на железопътен подвижен състав в крив участък от пътя са свързани с определени приемания, които ограничават решенията и избора на параметри за оптимално вписване на ходовите части. Не съществува пълна яснота по проблемите, отнасящи се до определяне характеристиките на хоризонталните връзки и изискванията към тях. Тези връзки се осъществяват от ресори (в най-общия смисъл!) и от други елементи в буксовата и централната ресорни степени, поради което са определящи за ресорната система на подвижния състав и, до голяма степен, за конструкцията му като цяло.

Значението на хоризонталните връзки е изключително голямо и определящо за:

- динамично-ходовите качества и допустимите скорости;
- интензивността на износване на бандажите (най-вече ребордите) и релсите;

- разбиването на железния път и подвижния състав и разходите за поддържането им;

- безопасността на движение по отношение на дерайлиране и други.

Горните фактори са особено актуални в настоящия момент за подвижния състав и инфраструктурата на нашите железници и в частност най-вече за:

- голяма част от вносните пътнически вагони – най-вече тези с талига тип GP- 200;

- рециклираните пътнически вагони;

- повечето от магистралните локомотиви;

- конструкцията и състоянието на железния път и в частност – кривите с малки радиуси, които са типични за нашите железници и са особено актуални при предстоящото влизане в Европейския съюз.

**Целта** на настоящата разработка е създаване на теоретичен модел за изследванията на хоризонталните връзки в ходовата част на железопътния подвижен състав, чрез който да се разработят адекватни технически решения (схеми на връзките и конструктивни разработки на същите), които са предназначени за модернизация и изграждане на нови изделия и ще доведат до съществени подобрения на динамично-ходовите качества, намаляване интензивността на износване на ребордите и релсите, повишаване безопасността на движение и допустимите скорости и намаляване на разходите и рисковете от разбиване на железния път и подвижния състав.

**Задачите**, които трябва да бъдат решени за постигане на горереформулираната цел са:

- Теоретични изследвания, обхващащи съставяне на математични модели за движение на ПЖПС в крив участък от пътя;

- Числени експерименти по съставени математически модели за квазистатично вписване на пътническа талига.

## **1. ТЕОРЕТИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ, ОБХВАЩАЩИ СЪСТАВЯНЕ НА МАТЕМАТИЧНИ МОДЕЛИ ЗА ДВИЖЕНИЕ НА ПЖПС В КРИВ УЧАСТЪК ОТ ПЪТЯ**

Изследванията на хоризонталните връзки в ходовата част на подвижен железопътен състав са свързани с изследване на връзката „букса – рама”, т.е. еластичността на воденето на буксата. За провеждане на теоретични и експериментални изследвания е необходимо съставянето на математични модели за квазистатично вписване и реализирането им за различни параметри на еластичност.

При решаване на задачите, свързани с движение на жп екипажи (талиги), до настоящия момент много широко разпространение има известният и традиционно използваният опростен модел с твърдо свързани колооси (букси) към рамата в хоризонтално направление. Резултатите, които дава този модел, са приблизителни, дори за някои случаи са грубо ориентировъчни, но пределната

му простота, наред с традицията и опита по прилагането му, очевидно, са основните фактори, обусловили неговото повсеместно разпространение.

Поради изтъкнатите съображения, независимо от развитите в последните десетилетия интеракционни модели [3,4,5,8,9], представлява практически интерес създадения в [1,2] равнинен модел, който отчита абсолютните и относителни скорости на плъзгане в контактните точки “колело-релса”, обусловените от тях тангенциални сили на плъзгане и е със значително по-висока точност от традиционно използвания опростен равнинен модел с твърдо свързани колооси.

### **1.1. Опростен равнинен модел за квазистатично вписване на двуосна талига в крив участък от пътя**

При движение на двуосна талига в крив участък от пътя колоосите чрез ребордите на една или повече колооси атакуват релсите и под действието на възникващите сили се завърта около ос, перпендикулярна на равнината на пътя. Съответните колооси и сили се наричан направляващи, тъй като направляват движението на талигата в кривия участък от пътя.

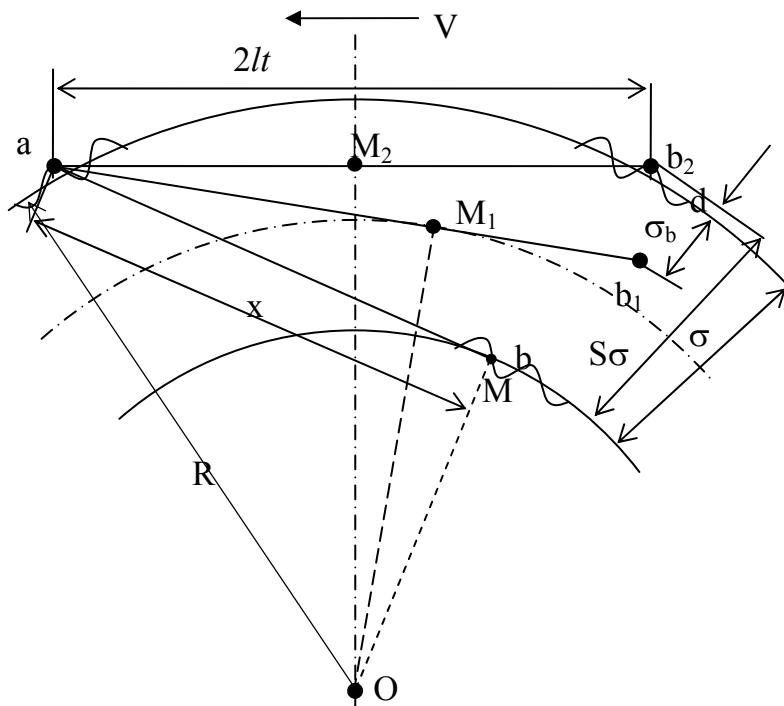
Методът на изследване движението в крива се основава на следните опростяващи приемания: пътят се приема, че е абсолютно корав в хоризонтална равнина; кривата е част от окръжност с радиус  $R$ ; хоризонталните сили, натовазващи и възприемани от талигата, действуват в равнина, минаваща през допирните точки на ребордите с релсите; вертикалното натовазване на релсите от колелата и от отделните колооси е еднакво; трептенията на талигата и коша, и спирачните сили не се отчитат.

В зависимост от скоростта на движение талигата може да заеме следните положения в кривата (фиг.1):

- положение “*максимално прекосяване*” – положение “ $ab$ ”, характерно за малките скорости на движение, при което положение контактуват ребордите на външното колело от атакуващата колоос с външната релса и вътрешното колело на втора колоос с вътрешната релса, при което направляващите сили са съответно  $Y_1$  и  $Y_2$  (разнопосочни);

- положение “*свободно установяване*” – положение “ $ab_1$ ”, при което положение контактува реборда на външното колело от атакуващата колоос с външната релса, а ребордът на вътрешното колело на втора колоос не контактува с вътрешната релса, при което направляваща сила е само  $Y_1$  а  $Y_2=0$ ;

- положение “*максимално изместване*” – положение “ $ab_2$ ”, характерно за по- големи скорости на движение, при което положение контактуват ребордите на външното колело от атакуващата колоос и външното колело на втора колоос с външната релса, при което направляващите сили са съответно  $Y_1$  и  $Y_2$  (еднопосочни).



**Фиг.1** Схема на възможните положения на талигата в крива

Полюсното разстояние  $x$  се изменя в зависимост от положението на талигата в кривата и се определя с достатъчна точност по следната зависимост:

$$(1) \quad x = l_t + \frac{\sigma_b \cdot R}{2l_t}$$

където:  $2l_t$  - база на талигата;  $R$  - радиус на кривата;  $\sigma_b$  - разстоянието между външната релса и реборда на задната колоос.

Величината  $\sigma_b$  може да приема стойности в интервала  $0 \leq \sigma_b \leq \sigma$ , като граничните стойности  $\sigma_b = \sigma$  и  $\sigma_b = 0$  отговарят на положенията “максимално прекосяване” и “максимално изместване”.

Граничната стойност на сумарната хлабина е сума от хлабината в прав участък -  $\Delta$  и допълнителното уширение в кривата -  $\delta$ , т.е. :

$$(2) \quad \sigma = \Delta + \delta$$

Сумарната хлабина между реборди и релсови нишки в прав участък на пътя, при нови реборди се определя по израза:

$$(3) \quad \Delta = 2S_{np} - 2d_{np}$$

където:  $2S_{np}$  - максимална ширина между релсовите нишки в прав участък (за нормално междурелсие  $2S_{np} = 1,435\text{m}$ );  $2d_{np}$  - разстояние между неизносени реборди от една колоос ( $2d_{np} = 1,426\text{m}$ ).

Допълнителното уширение в крива  $\delta$  зависи от радиуса на кривата и се определя по таблица 1.

таблица 1

R, m	125 ÷ 150	= 150 ÷ 180	= 180 ÷ 250	= 250 ÷ 300	≥ 300
δ, m	0,020	0,015	0,010	0,005	0

Отчитайки износването на контакта „колело-релса”, изобразено с означението d на фиг.1, граничната стойност на сумарната хлабина се определя по следната формула:

$$(4) \quad S\sigma = \sigma + d$$

където максималната стойност на износването в контакта „колело-релса” е разликата между разстояние между неизносени и износени реборди от една колоос ( $d = 2d_{np} - 2d_p = 1,426 - 1,410 = 0,016$  m).

Силите действащи в контактните точки „колело - релса” се определят по известни зависимости определени в източници [1, 2].

Система уравнения за положение *“максимално прекосяване”*:

$$(5) \quad \begin{cases} Y_1 - Y_2 - (H_k + H_{CT}) - 2\Phi \cdot \frac{x_{\max}}{\sqrt{S^2 + x_{\max}^2}} - 2\Phi \cdot \frac{(x_{\max} - 2l_t)}{\sqrt{S^2 + (x_{\max} - 2l_t)^2}} = 0 \\ Y_1 \cdot x_{\max} - Y_2 \cdot (x_{\max} - 2l_t) - (H_k + H_{CT})(x_{\max} - 2l_t) - 2\Phi \cdot \sqrt{S^2 + x_{\max}^2} - \\ - 2\Phi \cdot \sqrt{S^2 + (x_{\max} - 2l_t)^2} = 0 \end{cases}$$

като полюсното разстояние приема максималната стойност:  $x_{\max} = l_t + \frac{\sigma_b \cdot R}{2l_t}$ ; и напречните сили -  $H_k$  и  $H_{CT}$  се заместват в (5) като функции на скоростта V.

От решението на системата (5) се намират съответните стойности  $Y_1$  и  $Y_2$  при вариране на скоростта от  $V = 0$  до  $V = V$  в момента когато  $Y_2 = 0$ .

Ако при пресмятанията се получи  $Y_2 < 0$ , следва, че дори при скорост  $V \approx 0$  положението *“максимално прекосяване”* е невъзможно.

Система уравнения за положение *“свободно установяване”*:

$$(6) \quad \begin{cases} Y_1 - (H_k + H_{CT}) - 2\Phi \cdot \frac{x}{\sqrt{S^2 + x^2}} - 2\Phi \cdot \frac{(x - 2l_t)}{\sqrt{S^2 + (x - 2l_t)^2}} = 0 \\ Y_1 \cdot x - (H_k + H_{CT})(x - 2l_t) - 2\Phi \cdot \sqrt{S^2 + x^2} - 2\Phi \cdot \sqrt{S^2 + (x - 2l_t)^2} = 0 \end{cases}$$

като полюсното разстояние приема стойност в диапазона:  $x_{\max} \leq x \leq l_t$ , а напречните сили -  $H_k$  и  $H_{CT}$  се заместват в (6) като функции на скоростта V.

От решението на системата (5) се намират съответните стойности  $Y_1$  и V.

Система уравнения за положение *“максимално изместване”*:

$$(7) \quad \begin{cases} Y_1 + Y_2 - (H_k + H_{CT}) = 0 \\ Y_1 \cdot l_t - Y_2 \cdot l_t - 4\Phi \cdot \sqrt{S^2 + l_t^2} = 0 \end{cases}$$

като полюсното разстояние приема минимална стойност :  $x = l_t$ , а напречните сили -  $H_k$  и  $H_{CT}$  се заместват в (7) като функции на скоростта V.

От решението на системата (7) се намират съответните стойности  $Y_1$  и  $Y_2$ .

## 1.2. Модел за квазистатично вписване в крива на двуосна талига с еластично свързани с рамата колооси в хоризонтално направление

В моделът за квазистатично вписване в крива на двуосна талига с еластично свързани с рамата колооси [1] е поставена цел за пряко определяне на всички параметри на вписването в крива. Системата “талига-колооси-релси” се разглежда и решава целокупно. В модела се съставят зависимости, групирани в три групи:

- първа група зависимости (уравнения), т.нар. силови уравнения, изразяващи условието за равновесие на трите тела от разглежданата механична система – колооси 1 и 2 и рамата на талигата (3 тела по 6 уравнения – 18 броя уравнения);

- втора група зависимости са изведени в [1] – геометрични зависимости между ъгъла на атака, хлабината “реборд - външна релса” и всички относителни премествания в системата, включително хоризонталната деформация на релсата (2 уравнения за ъгъла на атака и 2 уравнения за хоризонталната деформация);

- трета група уравнения, също изведени в [1], се изразяват с кинематично-геометрични зависимости, отнасящи се за координатите и параметрите на контактните точки, а именно: зависимости на координатите  $u_{kj}$  за контактните точки от съответните хлабини между реборд и глава релса -  $\sigma_j$  ( $j = 1, 2$  - номера на съответната колоос); зависимости на радиусите на контактните точки  $r_{kj}$  от координатите  $u_{kj}$ ; зависимости на ъглите на наклона на бандажния профил  $\gamma_{kj}$  в контактните точки от координатите  $u_{kj}$  - общо 18 броя уравнения.

Общият брой алгебрични уравнения от трите групи е 40. Решаването на системата от 40 нелинейни алгебрични уравнения е възможно чрез използването на съвременни програмни продукти.

## 1.3. Равнинен модел за квазистатично вписване в крива на двуосна талига, отчитащ компонентите на скоростта на плъзгане и обусловените от тях тангенциални сили

Разглеждайки двуосовия екипаж на фиг.2, при предполагане на едноточков контакт между колелата и релсите, то компонентите  $u_{kix}$  и  $u_{kij}$  в хоризонталната равнина на относителната скорост на плъзгане  $u_{kj}$  за различните контактни точки  $A_{kj}$  ( $k = a$  - за външни колела и  $k = i$  - за вътрешни колела;  $j = 1, 2$  - за 1-ви респ. 2-ра колоос съобразно посоката на движение в надлъжно и напречно направление (с индекси “x” респ. “y”) се представят с различни изрази в съществуващите литературни източници [1,6,11,12,13].

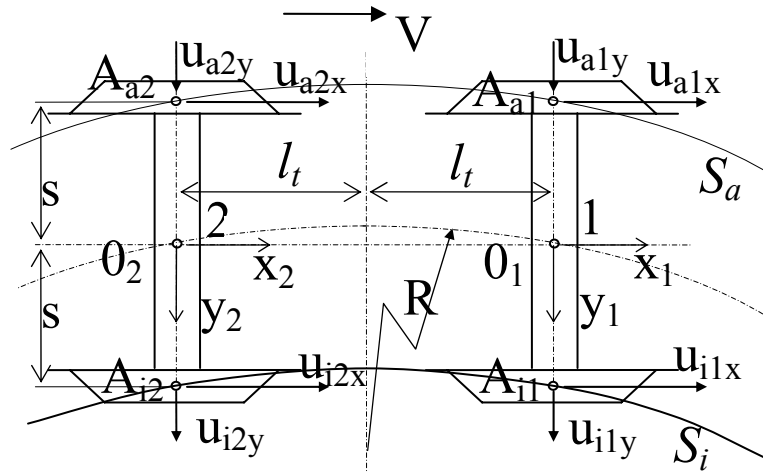
Компонентата в надлъжно направление на относителната скорост на плъзгане (или съкратено – относителна скорост на надлъжно плъзгане или надлъжно плъзгане) за контактните точки на различните колела [3] е:

$$(8) \quad u_{kix} = 1 - y_{kj}/R - z_{kj}/r_{ej}$$

където:  $y_{kj}$  и  $z_{kj}$  ( $k = a, i$ ;  $j = 1, 2$ ) са напречните респ. вертикалните координати на контактните точки със знаци съобразно означените на фиг.3.7 положителни посоки;  $r_{ej}$  – еквивалентен радиус на търкаляне на колооста, който се дефинира

със съотношението между скоростта на движение  $V$  и ъгловата скорост  $\omega_j$  на съответната колоос (с  $N_{0j}$ ) и по физически смисъл представлява радиуса на едно въображаемо колело към средата на колооста, което се търкаля без приплъзване по въображаема релса, разположена по оста на пътя, т.е.:

$$(9) \quad r_{ej} = V/\omega_j$$



Фиг.2

Ако за по-голяма простота заменим еквивалентния радиус на търкаляне на колооста  $r_{ej}$  със средния радиус  $r_{mj}$ , дефиниран от полусумата на външния  $r_{aj}$  и вътрешния  $r_{ij}$  радиуси, т.е.:

$$(10) \quad r_{mj} = (r_{aj} + r_{ij})/2,$$

където:  $r_{aj} = r_{mj} + \Delta r_j$ ;  $r_{ij} = r_{mj} - \Delta r_j$ ;  $\Delta r_j = (r_{aj} - r_{ij})/2$  и освен това, ако положим  $z_{kj} \approx r_{kj}$  и  $|y_{aj}| \approx y_{ij} \approx s$  (където  $s$  - разстояние между кръговете на търкаляне), получаваме в приблизителен вид относителната скорост на надлъжно плъзгане:

$$(11) \quad u_{ajx} \approx s/R - \Delta r_j/r_{mj}; \quad u_{ijx} \approx -s/R + \Delta r_j/r_{mj}$$

Компонентата в напречно - хоризонтално направление на относителната скорост на плъзгане (или съкратено – относителна скорост на напречно плъзгане или напречно плъзгане), както е известно се равнява на ъгъла на атака  $\alpha_j$  на съответната колоос (колело), т.е.

$$(12) \quad u_{ajy} = u_{ijy} = u_{jy} = \alpha_j$$

За най-общият случай ъгълът на атака  $\alpha_j$  е детерминиран от различни параметри, характеризиращи взаимното разположение на елементите на системата “рама – колооси (букси) - релси”; съвкупността от стойностите на тези параметри е поначало неизвестна и се формира в процеса на квазистатичното вписване в кривата по такъв начин, че да бъде гарантирано статичното равновесие на системата. Следователно, стойностите на параметрите детерминиращи ъгъла на атака, както и неговите стойности, могат да бъдат определени при едно цялостно решаване на задачата [7,10].

От подробната геометрична трактовка на ъгъла на атака [3], се извежда зависимостта:

$$(13) \quad \alpha_j = u_{jy} = (-1)^{j+1} \cdot \frac{\ell}{R} + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2\ell_t} + \frac{\delta_{s2} - \delta_{s1}}{2\ell_t} + \frac{I_1 - I_2}{2\ell_t} - \frac{X_{aj} - X_{ij}}{2b} - \xi$$

където:  $2\ell_t$  е база на талигата (екипажа);  $R$  - радиуса на кривата;  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  - разстоянието “реборд – външна релса” за първа, респ. втора колооси (за общност и с цел повишаване на решенията се залага  $\sigma_1 \neq 0$ , като се допуска и  $\sigma_1 < 0$  - в случаи на възкачване на реборда върху ръба на релсовата глава);  $\delta_{s1}$  и  $\delta_{s2}$  - сумарните хоризонтални неравности на релсовия път;  $I_1$  и  $I_2$  - напречните относителни премествания на рамата на екипажа спрямо първа, респ. втора колоос;  $X_{aj}$  и  $X_{ij}$  - надлъжното относително преместване на външната, респ. вътрешна букса спрямо рамата от разглежданата колоос (с №  $j$ );  $\xi$  - ъгълът на хоризонталната коса деформация на рамата.

Доколкото в традиционните разглеждания с помощта на опростения равнинен модел основната използвана величина “полюсно разстояние” (разстоянието от полюса на завъртане до съответната колоос) се свързва с ъгъла на атака, представляващ съгласно традиционната трактовка на опростения модел съотношението между полюсното разстояние  $x_j$  и радиуса на кривата  $R$  (т.е.  $\alpha_{j\chi} = x_j/R$ ), ако от израза (14) се определи така дефинираният ъгъл на атака, който се означава с  $\alpha_{j\chi}$  и се нарича условен ъгъл на атака или детерминиран от полюсното разстояние ъгъл на атака той, както е известно [7,15,22], може да се представи с израза:

$$(14) \quad \alpha_{j\chi} = u_{jy} = (-1)^{j+1} \cdot \ell/R + \sigma_2/2\ell_t,$$

представляващ първия член и част от втория член на израза (13), който, при това положение може да бъде записан в следния вид:

$$(15) \quad \alpha_j = \alpha_{j\chi} + \Sigma_{(x,y,\xi)j}$$

където: с  $\Sigma_{(x,y,\xi)j}$  е означена сумата на остатъчните членове от израза (14), която в разгърнат вид се изразява както следва:

$$(16) \quad \Sigma_{(x,y,\xi)j} = \frac{-\sigma_1}{2\ell} + \frac{\delta_{s2} - \delta_{s1}}{2\ell} + \frac{I_1 - I_2}{2\ell} - \frac{X_{aj} - X_{ij}}{2b} - \xi$$

За да идентифицираме относителните скорости на надлъжно и напречно плъзгане, съдържащи се в опростения равнинен модел, ще изходим от всеизвестните зависимости от този модел за надлъжните и напречни компоненти на силите на плъзгане  $T_{kjx\chi}$  и  $T_{kyy\chi}$ , определени естествено, при еднакво натоварване на колелата  $\Pi$  и при сухо триене с фиксирана стойност на коефициента на триене  $\mu$ .

Въз основа на точните изрази за относителните скорости на плъзгане, могат да се получат за различните контактни точки точните изрази за надлъжните и напречни компоненти на тангенциалните сили на плъзгане  $T_{kjx}$  и  $T_{kyy}$  въз основа на известните формули, валидни за зоната на сухо триене (при относителна скорост на плъзгане, превишаваща критичната).



$$(17) \quad T_{k_jx} = -\mu \cdot \Pi \cdot u_{k_jx} / \sqrt{u_{k_jx}^2 + u_{k_jy}^2}; \quad T_{k_jy} = -\mu \cdot \Pi \cdot u_{k_jy} / \sqrt{u_{k_jx}^2 + u_{k_jy}^2}$$

Прилагайки горните формули за различните контактни точки (колела) при заместване в тях на точните изрази за относителните скорости на надлъжно и напречно плъзгане, получаваме дадените по-долу точни изрази в разгърнат вид за тангенциалните сили на плъзгане, като срещу тях за същите контактни точки, с оглед на удобство за сравняване, са дадени и изразите от фиг.3 (където само  $x_j/R$  се заменя с  $\alpha_{jx}$  съответстващи на опростения равнинен модел, а именно както следва:

$$(18) \quad T_{k_jx} = \frac{\mp \mu \cdot \Pi \cdot (s/R - \Delta r_j / r_{mj})}{\sqrt{(s/R - \Delta r_j / r_{mj})^2 + (\alpha_{jx} + \Sigma_{(x,y,\xi)_j})^2}}; \quad T_{k_jxx} = \mp (\mu \cdot \Pi \cdot s/R) / \sqrt{(s/R)^2 + (\alpha_{jx})^2}$$

(знака “-“ при  $k = a$  и знака “+” при  $k = i$ )

$$(19) \quad T_{k_jy} = \frac{-\mu \cdot \Pi \cdot (\alpha_{jx} + \Sigma_{(x,y,\xi)_j})}{\sqrt{(s/R - \Delta r_j / r_{mj})^2 + (\alpha_{jx} + \Sigma_{(x,y,\xi)_j})^2}}; \quad T_{k_jyx} = -\mu \cdot \Pi \cdot \alpha_{jx} / \sqrt{(s/R)^2 + (\alpha_{jx})^2}$$

Работните формули за тангенциалните сили на плъзгане в контактните точки на колелата с релсите ще добият следния вид:

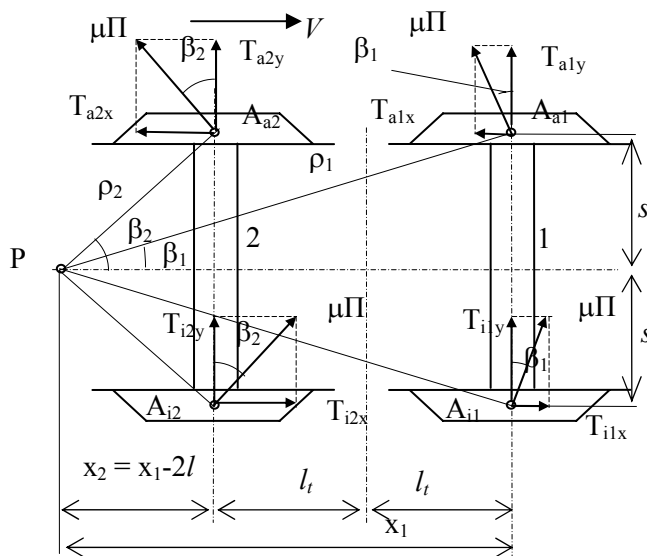
- за първа колоос:

$$(20) \quad T_{k_1x} = \frac{\mp \mu \cdot \Pi \cdot (s - R \cdot (\Delta r_1 / r_{m1}))}{\sqrt{(s - R \cdot (\Delta r_1 / r_{m1}))^2 + (\chi_1 - R \cdot \gamma_1)^2}}; \quad T_{k_1y} = \frac{-\mu \cdot \Pi \cdot (\chi_1 - R \cdot \gamma_1)}{\sqrt{(s - R \cdot (\Delta r_1 / r_{m1}))^2 + (\chi_1 - R \cdot \gamma_1)^2}}$$

- за втора колоос:

$$(21) \quad T_{k_2x} = \mp \mu \cdot \Pi \cdot s / \sqrt{s^2 + (\chi_1 - 2\ell_t)^2}; \quad T_{k_2y} = -\mu \cdot \Pi \cdot (\chi_1 - 2\ell_t) / \sqrt{s^2 + (\chi_1 - 2\ell_t)^2}$$

По направените математически модели за квазистатично вписване на пътническа талига тип GP200, е направен числен експеримент по традиционния опростен модел (т.1.1) и по равнинния модел отчитащ компонентите на скоростта на плъзгане и обусловените от тях тангенциални сили (т.1.3).



Фиг.3

## 2. ЧИСЛЕНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ ПО СЪСТАВЕНИ МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛИ ЗА КВАЗИСТАТИЧНО ВПИСВАНЕ НА ПЪТНИЧЕСКА ТАЛИГА

### 2.1. Числени експерименти по опростен равнинен модел за квазистатично вписване на двусна талига в крив участък на пътя

Числените експерименти са извършени при различни радиуси на кривите. Определени са всичките параметри свързани с хоризонталния динамичен паспорт на талигата. Изчисленията са извършени на програмния продукт Microsoft Office Excel 2003.

В резултат на числените експерименти се установява, че възможните положения на талигата за криви с радиуси  $R = 200 \div 600$  m са положения „свободно установяване” и „максимално изместване”. В таблица 2 е направена извадка от резултатите.

Установява се, че талигата не може да заема положение „максимално прекосяване”.

Таблица 2

Радиус на кривата		
R = 250 m	R = 300 m	R = 500 m
Начално състояние на положение “свободно установяване”		
X = 2,666 m V = 56,35 km/h Y <sub>1</sub> = 99,52 kN	X = 2,666 m V = 61,73 km/h Y <sub>1</sub> = 99,52 kN	X = 2,666 m V = 79,69 km/h Y <sub>1</sub> = 99,52 kN
Начално състояние на положение “максимално изместване”		
X = 1,25 m V = 141,7 km/h Y <sub>1</sub> = 155,3 kN	X = 1,25 m V = 155,2 km/h Y <sub>1</sub> = 155,3 kN	X = 1,25 m V = 200,39 km/h Y <sub>1</sub> = 155,3 kN
Положение при максимална конструктивна скорост V=160 km/h		
X = 1,25 m Y <sub>1</sub> = 177,3 kN Y <sub>2</sub> = 22 kN	X = 1,25 m Y <sub>1</sub> = 160,6 kN Y <sub>2</sub> = 5,263 kN	X = 2,2 m Y <sub>1</sub> = 140 kN Y <sub>2</sub> = 0 kN

## 2.2. Числен експеримент по равнинен модел за квазистатично вписване в крива на двуосна талига отчитащ компонентите на скоростта на плъзгане и обусловените от тях тангенциални сили

За определяне оптималните характеристики на буксовите връзки с рамата на пътническа талига по разглеждания модел съставената система е решена чрез програмата MATHCAD 2000 Pro.

Използвайки разработените модели съм направил изчисления чрез програмата MATHCAD 2000 Pro, при радиус на крива  $R = 250$  m, както следва:

Квазистатично вписване на талига GP200 при  $R = 250$  m

S := 0.75   h := 1.25   R := 250   Pa := 4890152   Pi := 39388.48   Pcx := 0   H := 9000  
 $\Delta r1 := 5.062 \times 10^{-3}$    m1 := 0.46    $\Delta r2 := 1.08263 \times 10^{-3}$    m2 := 0.46    $\gamma a1 := 1.78555$     $\gamma a2 := -0.2898$   
 $\gamma i1 := 0.17$     $\gamma i2 := 0$    A :=  $1.39121 \times 10^4$    B :=  $1.05078 \times 10^4$     $\mu := 0.25$    Y1 :=  $1.88551 \times 10^4$    x := 2.497661  
ra1 := 0.46980863   ri1 := 0.4596842   ra2 := 0.46198176   ri2 := 0.45981651   m := 0.5

Given

Pa - 44145 - 9513.045·m = 0   Pi - 44145 + 9513.045·m = 0   H - 18000·m = 0

$$\Delta r1 - \frac{(ra1 - ri1)}{2} = 0 \quad \Delta r2 - \frac{(ra2 - ri2)}{2} = 0$$

$$\frac{-\mu \cdot Pa(x)}{\sqrt{\left(S - R \cdot \frac{\Delta r1}{m1}\right)^2 + \frac{x^2}{(\cos(\gamma a1))^2}} + \frac{-\mu \cdot Pa(x - 2 \cdot h)}{\sqrt{\left(S - R \cdot \frac{\Delta r2}{m2}\right)^2 + \frac{(x - 2 \cdot h)^2}{(\cos(\gamma a2))^2}} + \frac{-\mu \cdot Pi(x)}{\sqrt{\left(S - R \cdot \frac{\Delta r1}{m1}\right)^2 + \frac{x^2}{(\cos(\gamma i1))^2}} + \frac{-\mu \cdot Pi(x - 2 \cdot h)}{\sqrt{\left(S - R \cdot \frac{\Delta r2}{m2}\right)^2 + \frac{(x - 2 \cdot h)^2}{(\cos(\gamma i2))^2}} + Y1 - H = 0$$

$$\frac{\mu \cdot Pa\left(S - R \cdot \frac{\Delta r1}{m1}\right)}{\sqrt{\left(S - R \cdot \frac{\Delta r1}{m1}\right)^2 + \frac{x^2}{(\cos(\gamma a1))^2}} + \frac{\mu \cdot Pa\left(S - R \cdot \frac{\Delta r2}{m2}\right)}{\sqrt{\left(S - R \cdot \frac{\Delta r2}{m2}\right)^2 + \frac{(x - 2 \cdot h)^2}{(\cos(\gamma a2))^2}} + \frac{\mu \cdot Pi\left(S - R \cdot \frac{\Delta r1}{m1}\right)}{\sqrt{\left(S - R \cdot \frac{\Delta r1}{m1}\right)^2 + \frac{x^2}{(\cos(\gamma i1))^2}} + \frac{\mu \cdot Pi\left(S - R \cdot \frac{\Delta r2}{m2}\right)}{\sqrt{\left(S - R \cdot \frac{\Delta r2}{m2}\right)^2 + \frac{(x - 2 \cdot h)^2}{(\cos(\gamma i2))^2}} - A = 0$$

$$\frac{\mu \cdot Pa(x)}{\sqrt{\left(S - R \cdot \frac{\Delta r1}{m1}\right)^2 + \frac{x^2}{(\cos(\gamma a1))^2}} + \frac{-\mu \cdot Pa(x - 2 \cdot h)}{\sqrt{\left(S - R \cdot \frac{\Delta r2}{m2}\right)^2 + \frac{(x - 2 \cdot h)^2}{(\cos(\gamma a2))^2}} + \frac{\mu \cdot Pi(x)}{\sqrt{\left(S - R \cdot \frac{\Delta r1}{m1}\right)^2 + \frac{x^2}{(\cos(\gamma i1))^2}} + \frac{-\mu \cdot Pi(x - 2 \cdot h)}{\sqrt{\left(S - R \cdot \frac{\Delta r2}{m2}\right)^2 + \frac{(x - 2 \cdot h)^2}{(\cos(\gamma i2))^2}} - B = 0$$

$$\text{Find}(Pa, Pi, H, \Delta r1, \Delta r2, \gamma a1, A, B, Y1) = \begin{pmatrix} 4.89015 \times 10^4 \\ 3.93885 \times 10^4 \\ 9 \times 10^3 \\ 5.06222 \times 10^{-3} \\ 1.08263 \times 10^{-3} \\ 1.78549 \\ 1.39103 \times 10^4 \\ 1.05035 \times 10^4 \\ 1.88647 \times 10^4 \end{pmatrix} \blacksquare$$

Резултатите които са получени по-горе са за пътническа талига тип GP200 при буксова връзка с коефициент на еластичност  $C_x = C_y = 1,5 - 2 \text{ kN/mm}$  и максимален ход 5-6 mm при прогресивно нарастване на силата след началните 3-4 mm.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработените теоретични модели могат да бъдат прилагани при изследване поведението на различни конструкции ходова част на железопътен подвижен състав при движението им в крив участък от пътя.

Опростения равнинен модел за квазистатично вписване на двуосна талига в крив участък от пътя е допълнен в сравнение с традиционно използвания и чрез него може да се построи хоризонтален динамичен паспорт на талиги, с отчитане износването в контактната точка „колело-релса”

Предлагания в разработката равнинен модел за квазистатично вписване в крива на двуосна талига, отличаващ се от традиционно използвания отчита компонентите на скоростта на плъзгане и обусловените от тях тангенциални сили в контактните точки „колело-релса”, завъртането на колоосите в план и ъгъла на атака на атакуващата колоос.

Числените експерименти по изложените модели показват приложимостта на моделите за определяне характеристиките на пътническа талига тип GP200 и възможността за нейната оптимизация.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] АТМАДЖОВА, Д. Метод за определяне на характеристиките на буксовите връзки с рамата на талига за пътнически вагони, Дис., С., 2001

[2] АТМАДЖОВА, Д. Плоскостная модель улучшенной точности для вписывания в кривые железнодорожных экипажей. The fourth international conference HEDVY MECHINERY NM 2002, Kraljevo, 2002

[3] АТМАДЖОВА Д. Изследвания на рециклирани пътнически вагони XII НК с международно участие на ВТУ "Т. Каблешков", София, 2003

[4] ДИМИТРОВ, Е. Върху определянето на направляващата способност на локомотивна колоос, Дис., С., 1979

[5] КАРАДЖОВ, Т., Ж. ДИМИТРОВ. Вагони, С. Техника, 1988

[6] КУЦЕНКО С. М. и кол., Динамика установившегося движения локомотивов в кривых, Х. Виша школа, 1975

[7] ПЕНЧЕВ Ц., АТМАДЖОВА Д. Анализ на причините за интензивно износване на ребордите за пътнически вагони от парка на БДЖ. Електронно списание "Механика Транспорт Комуникации" <http://www.mtc-aj.com> бр. 1, 2003

[8] ПЕНЧЕВ Ц., АТМАДЖОВА Д. Въпроси от експлоатация, ремонта и рециклирането на пътнически вагони от парка на БДЖ ВТУ "Т. Каблешков" София 2003

[9] РУЖЕКОВ, Т. и кол., Конструкция , теория и проектиране на локомотиви., С. Техника, 1985

[10] АТМАДЖОВА, D. Theoretical and experimental method of determining angle of attack between with rolling stock running in curves, JAHORINA – IRMES' 2002

[11] KALKER, J., A Fast Algorithm for the Simplified Theory of Rolling Contact. – Internal Report, Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 1980

[12] HANNEFORTH, W., W. FISCHER. LAUFWERKE., Transpress VEB Verlag fur Vekehrswesen, Berlin 1986

[13] HOIMAN, H. Direction of railway crews by rail wheel, M., Transport, 1957

## **MODELS OF EXAMINATION ON THE ROLLING STOCK WHEELED PART WITH RUNNING ALONG A CURVATURE**

**Dobrinka Atmadzhova**

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

*Higher School of Transport (VTU),  
Department of Transport Equipment  
158 Geo Milev Street, Sofia 1574, BULGARIA*

**Key words:** *rolling stock, wheeled part, quasi-static inscription.*

**Abstract:** *The paper presents a theoretical model to examine the horizontal connections in rolling stock wheeled part, which are used to develop adequate technical solutions (diagrams of connections and their construction developments) intended to modernize and build new articles. The numerical experiments according to the models presented have shown their applicability to determining the features of the passenger bogie of GP200 type and the possibility of its optimization.*