

**ПРИБЛИЗИТЕЛЕН МЕТОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НЕПОГАСЕНОТО
СТРАНИЧНО УСКОРЕНИЕ В ПРЕХОДНА КРИВА**

Николай Арnaudов, Майя Иванова

nikiarbg@gmail.com, mai_5e@abv.bg

**ВТУ „Т. Каблешков”
София 1574, ул. „Гео Милев”158
БЪЛГАРИЯ**

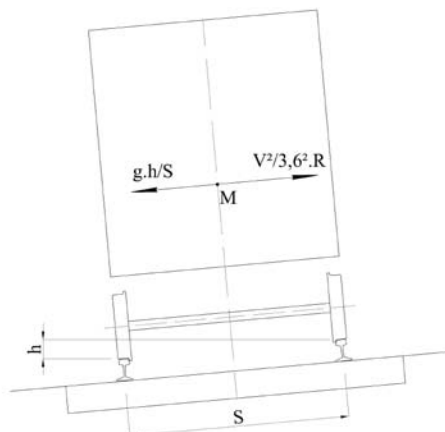
Ключови думи: *непогасени странични ускорения, изчисляване, метод, преходна крива, надвишение, радиус на кривината, напречните хоризонтални сили*

Резюме : *Предложеният метод дава възможност за всяка подробна точка от преходната крива с изчислени координати да се определи непогасеното ускорение и да се състави диаграма на неговото изменение при движение на превозното средство по преходната крива. Методът може да намери приложение при теоретично изследване на типове преходни криви в динамично отношение и сравняването им, когато не се изисква много голяма прецизност.*

При движението на влака по проектните елементи на железния път възникват различни по характер, големина и направление динамични въздействия. Някои от тях оказват по-голямо влияние на системата подвижен състав – железен път, други по-малко. Също така някои от тези сили са външни за влака – най-често приложената им точка е горната повърхност на глава релса, а други са вътрешни и възникват както между вагоните и локомотива, така и между отделните елементи /подвижни и неподвижни/ на локомотива /вагоните/. В проектирането на жп линии се разглеждат само тези сили, които са външни за подвижния състав. Най-общо те могат да се разделят на две основни групи: хоризонтални и вертикални. Вертикалните се поемат от горното строене на железния път и тяхното влияние се изразява преди всичко с определящото им значение за носимоспособността на железния път. Хоризонталните сили биват надлъжни и странични. Хоризонталните надлъжни сили – топлинни, спирачни, тягови, съпротивителни, имат значение за устойчивостта на железния път – надлъжно свличане на релсите и пътя. За сигурността и безопасността на движението на влаковете главно значение имат страничните (напречните) хоризонтални сили. Те действат не само върху возилата и железния път, но също така върху пътниците и товарите.

Най-голямо е влиянието на страничните хоризонтални сили в кривите. Основната сила която се появява е центробежната. Тя зависи от скоростта на движение на влака и от размера на радиуса на кривата. Колкото е по-голяма скоростта и по-малък радиуса, толкова нейното неблагоприятно влияние е по-значително. За намаляване размера на въздействие на центробежната сила се прибегва до даване на надвишение на външната релса спрямо вътрешната в кръгови криви и поставяне на преходни криви

между кръговата крива и правата, като по цялата дължина на преходната крива се изпълнява прехода на надвишението, при който външната релса се повдига от положението си в права до стойността на надвишението в кръгова крива.



фиг. 1

Центробежната сила предизвиква странично ускорение, насочено навън (фиг. 1). Големите странични ускорения могат да имат твърде неблагоприятни последици. Под тяхното действие движението на возилата става много неспокойно и може да се стигне до опасност от дерайлиране. При големи непогасени странични ускорения товарите във вагоните започват да се плъзгат по посока на действие на силата и да се събират в единия край на вагона, което е предпоставка за авария. Също така те предизвикват и дискомфорт у пътуващите във влака. Непогасеното странично ускорение α_n е разлика от ускорението $\alpha_{вн}$, предизвикано от действащата центробежна сила и ускорението $\alpha_{вт}$, предизвикано от действието на центростремителната сила, появила се вследствие направата на надвишение на външната релса в крива (фиг. 1):

$$\alpha_n = \alpha_{вн} - \alpha_{вт} = \frac{V^2}{3.6^2.R} - \frac{g.h}{S}, (\text{м/с}^2)$$

където V е скоростта на движение на влака (км/ч)

R – радиусът на кръговата крива (м)

g – земното ускорение $9,81 \text{ м/с}^2$

h – надвишението м/у двете релсови нишки (мм)

S – междурелсието, което у нас е 1500 мм

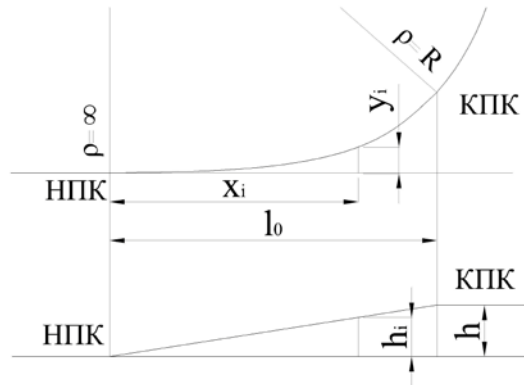
След като се замести за α_n се получава:

$$\alpha_n = \frac{V^2}{13.R} - \frac{h}{153}, (\text{м/с}^2) \quad (1)$$

По тази формула се определя стойността на непогасеното центробежно ускорение в кръгова крива.

Проблем възниква ако трябва да се определи това ускорение в произволна точка от преходната крива. Понеже преходната крива има променлив радиус и надвишение, то величината на непогасеното центробежно ускорение ще е различна във всяка една точка. От формула (1) е видно, че за целта е необходимо да са известни скоростта, надвишението и радиуса на кривината в разглежданата точка. Скоростта на движение е еднаква за дадено междугарие и тя е проектната за дадения участък, с други думи тя е

известна. Надвишението в произволна точка може да се определи при предпоставката, че прехода на надвишение е изпълнен праволинеен (фиг. 2), както е в практиката с цел по-лесно строителство и поддържане. Тогава като са известни надвишението в кръговата крива, дължината на преходната крива и разстоянието от НПК до разглежданата точка, то се получава чрез интерполация:



фиг. 2

$$\frac{h_i}{h} = \frac{x_i}{l_0} \Rightarrow h_i = \frac{x_i}{l_0} \cdot h$$

Малко по-сложно е намирането на радиуса ρ в произволна точка от преходната крива. Както е известно преходната крива променя своя радиус от $\rho = \infty$ в НПК до $\rho = R$ в КПК, а в интервала от НПК до КПК ρ се изменя от безкрайност до R постоянно, плавно и монотонно. От теорията е известно, че радиусът в коя да е произволна точка с координати x и y от преходната крива е:

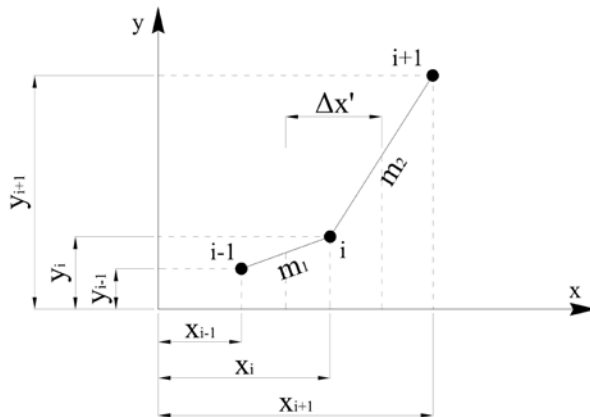
$$\rho = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}}{\frac{d^2 y}{dx^2}} \quad (2)$$

Тук основният проблем е определянето на първата и втората производна на кривината. Това може да стане по приблизителен метод, като вместо безкрайно малки интервали се разглеждат крайни интервали и кривината в тях се заменя с прави отсечки. Начинът на работа е следния:

За да се определи кривината в дадена точка i с координати $(x_i; y_i)$ (фиг. 3) трябва да са известни координатите на две нейни съседни точки $i-1(x_{i-1}; y_{i-1})$ и $i+1(x_{i+1}; y_{i+1})$.

Тогава може да се пресметне приблизително стойността на $\frac{dy}{dx}$ в средната точка така:

Наклонът на правата между точки $i-1$ и i се определя от отношението:



фиг. 3

$$m_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}$$

Наклонът на правата между точки i и $i+1$ се дава с израза:

$$m_2 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}$$

Средната стойност на сумата от тези наклони ще даде една приблизителна стойност на първата производна:

$$\frac{dy}{dx} \approx \frac{m_1 + m_2}{2}$$

Втората производна фактически ще бъде наклона на тези два наклони. За да се определи се изчислява разликата между тях:

$$\Delta m = m_2 - m_1$$

Тази стойност трябва да се раздели на разликата в координатите по x на средите на двете отсечки m_1 и m_2

$$\Delta x' = \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{2} + x_i \right) - \left(\frac{x_i - x_{i-1}}{2} + x_{i-1} \right)$$

и за втората производна се получава:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} \approx \frac{\Delta m}{\Delta x'}$$

След като са изчислени двете производни се замества във формула (2) и се намира радиуса на кривината в търсената точка. След като са налице всички неизвестни във формула (1) се пресмята и стойността на непогасеното странично ускорение в разглежданата точка.

По този начин чрез многократно повторение на гореописаните операции е възможно за всяка подробна точка от преходната крива с изчислени координати да се определи непогасеното ускорение и да се състави диаграма на неговото изменение при движение на превозното средство по преходната крива. За улеснение на изчисленията голяма част от гореописаните операции могат да се автоматизират, като се изработи подходящ алгоритъм за пресмятането им на Ексел или се разработи програма.

Методът може да намери приложение при теоретично изследване на типове преходни криви в динамично отношение и сравняването им, когато не се изисква много голяма прецизност. Също така би могъл да има практическо приложение при ремонт на жп линии за определяне на състоянието на преходните криви в периода на експлоатация. Той е практичен, не изисква специфични математически познания или ползване на сложен математически софтуер, за който е необходимо допълнително специално обучение и знания, а неговото използване може да бъде допълнително улеснено чрез автоматизиране на част от изчисленията по подходящ начин.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Иванов, Г., Горно строене и поддържане на железния път, 1980
- [2] Bourne, M., Radius of curvature, www.intmath.com