

## **ДВИЖЕНИЕ НА ВЛАКА В ХОРИЗОНТАЛНИ КРИВИ - НЕДОСТИГ И ИЗЛИШЪК НА НАДВИШЕНИЕ**

**Стойо Тодоров**  
[stoyo.todorov@gmail.com](mailto:stoyo.todorov@gmail.com)

*Университет по архитектура, строителство и геодезия  
1048, София, бул. „Христо Смирненски“ №1,  
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** проектиране на жп линии, недостиг на надвишение, проектна скорост*

***Резюме:** Движението на влака в хоризонтални криви е свързано с редица явления: разширение на междурелсието в криви с малки радиуси; надвишение на външната релса; поява, действие и изчезване на сили; променлив баланс на центробежните и центростремителни ускорения; поява, развитие и затихване на вибрации и колебателни движения.*

*Всички те трябва да се вземат предвид при проектирането на геометрията на железния път и на отделните релсови нишки. В последно време у нас отново се заговори за недостига и излишъка на надвишение при движението на влака в хоризонтални криви и неговото включване в „нормите за проектиране на жп линии“ или Наредба 55, както се наричат в момента.*

### **1. Въведение**

Предстоящите промени в Наредба 55 [1] налагат проверка и актуализация на някои „азбучни“ истини. Една от главните предлагани промени е въвеждането на „недостиг на надвишение“ при хоризонтални криви. Недостигът на надвишение е традиционно понятие при проектирането на железопътни линии и конструкцията на железния път в хоризонтални криви, но не е основно за Наредба 55. То е дадено като понятие и възможност, но не и като реална основа за проектиране и строителство.

Недостигът на надвишение при високоскоростните пътнически влакове, обикновено се свързва и с излишък на надвишението при товарните влакове. В първия случай резултантната сила натоварва външната релса за кривата, а при втория – вътрешната релса.

### **2. Надвишение**

Построяването на надвишение в хоризонталните криви **традиционно** се налага поради действието на центробежните сили за: устойчивост на возилата срещу преобръщане; по-добро разпределение реакциите на опорите на двете релси; по равномерно износване на двете релси, подобряване на комфорта на пътуване [2]. Традиционно при смесено движение се работи с нормално надвишение или средно-

квадратично надвишение. Така се удовлетворят изискванията на товарните и пътническите влакове, които се движат в участъка. Естествено при това пътническите влакове изпитват недостиг на надвишение, а товарните влакове – изпитват излишък на надвишение [3]. Въпросът е: „Колко е възможният най-голям недостиг на надвишение, от какво зависи и как може да се нормира“.

Сега надвишението трябва да се определи като се вземе предвид:

- Голямото надвишение при криви с малки радиуси увеличава риска от дерайлиране на товарни вагони при ниски скорости. При тези условия вертикалното натоварване от колело приложено към външната релса е силно намалено, особено когато се получи допълнително шахматно пропадане;

- Надвишение, по-голямо от 160 mm, може да доведе до изместване на товари и влошаване на комфорта на пътниците, когато возилата спират в криви с голямо надвишение (например спирка). Освен това при прекалено голямо надвишение може да се застраши стабилността на работните влакове и специалните возила за поддържане на железния път и специалните товари с висок център на тежестта;

- Голямото надвишение увеличава големината на излишъка на надвишение в кривите, където има големи разлики между скоростите на бързите и бавни влакове.

Нормално максималната граница за надвишение е 160 mm [4]. Препоръчва се надвишението да бъде ограничавано до 110 mm при релси в близост до пътнически перони или други особености на трасето, като жп прелези, мостове и тунели.

Границата по изключение, която не трябва да се нарушава за надвишението е 180 mm.

За да се избегне риска от дерайлиране поради усукване на нееластични товарни вагони при крива с малък радиус ( $R < 320$  m) [5], надвишението  $H_{lim}$  се ограничава до:

$$(1) \quad H_{lim} = \frac{R - 50}{1,5} \quad [\text{mm}]$$

където:

50 е в m.

1,5 – хоризонтално разстояние в m за нарастване на надвишението с 1 mm.

Прилагането на тази граница предполага високи изисквания за поддържане на железния път, особено по отношение на шахматното пропадане.

## 2.1. Надвишение в междугарието

Надвигението  $H$  в междугарието се разглежда при възможност за изпълнение на необходимото надвишение в пълен размер.

$$(2) \quad H = 11,8 \frac{v_{pr}^2}{R} - \Delta H^{нед}$$

където:

$v_{pr}$  – проектна скорост в km/h.

$R$  – радиус на хоризонталната крива в m.

$\Delta H^{нед}$  – недостиг на надвишение на външната релса в mm.

Недостигът на надвигението е пропорционален на непогасеното странично ускорение фиг.1 и фиг.2:

$$(3) \quad \Delta H^{нед} = \frac{a_n \cdot s}{g}$$

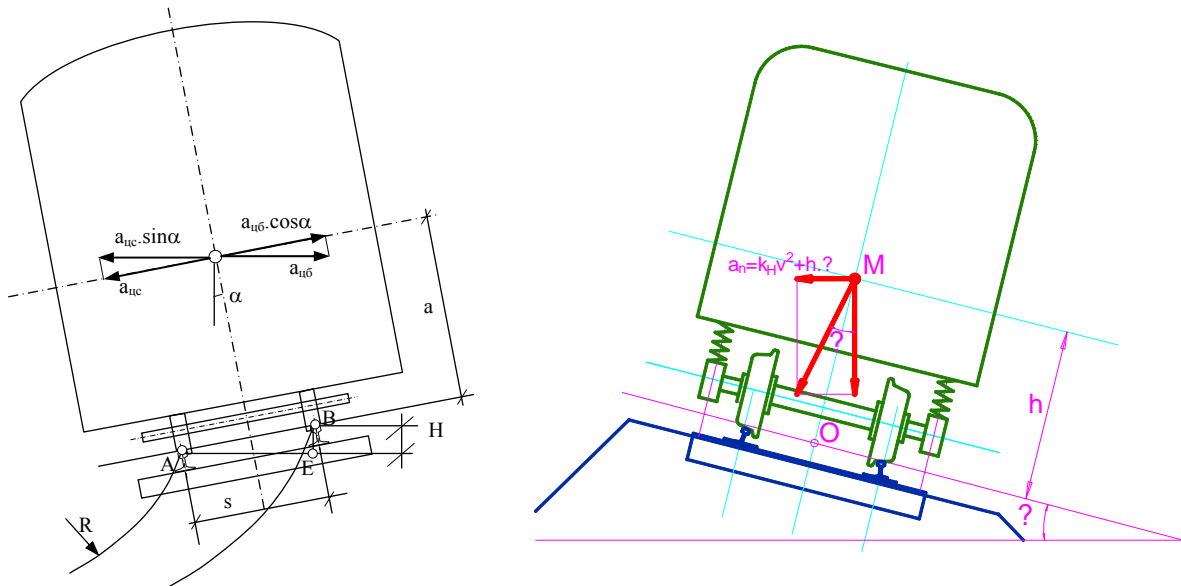
където:

$a_n$  – непогасено странично ускорение в  $m/s^2$ . То е разлика между центробежното и центростремителното ускорение в хоризонтална крива:

$$(4) \quad a_n = \frac{v^2}{R} - \frac{g \cdot H}{s}$$

$s$  – междуосие, разстояние между точките на контакт между колелата и релсите в mm.

$g$  – гравитационна константа в  $m/s^2$ .



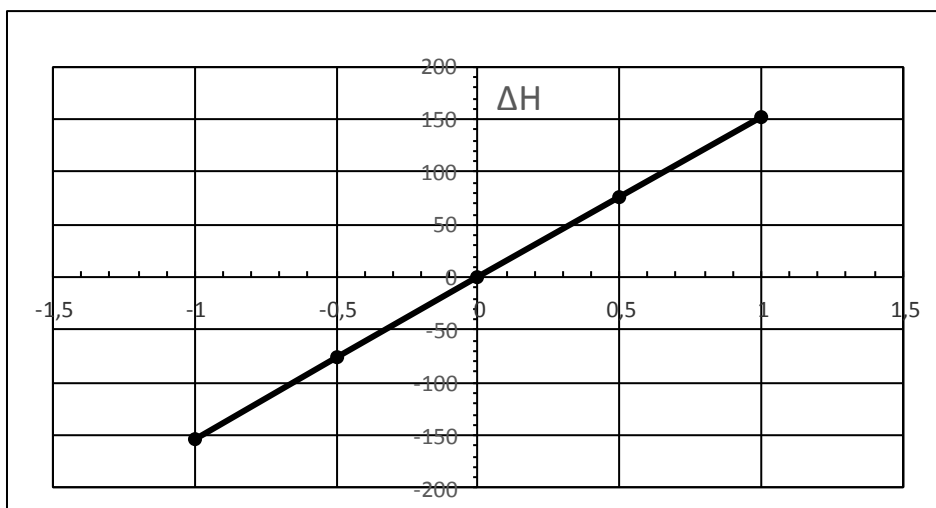
Фиг.1 Разпределение на ускоренията при движение на влака в крива с надвишение

## 2.2.Надвишение в гари

В гарите не всякога може да се даде необходимото надвишение  $H$ , защото кривата е част от железопътна стрелка или е до перон. По българските норми в гара може да се проектира с крива над 600 m, а по принцип минималната граница [5] е 500 m. Получава се от изискването за комфорт при качване и слизане на пътниците в зависимост от свободното разстояние между перона и возилото.

## 3.Недостиг на надвишение

Недостигът на надвишение, определен по формула (3) [2] е пропорционален на непогасеното странично ускорение фиг.2.



**Фиг.2** Зависимост на недостига на надвишение от непогасеното странично ускорение в хоризонталните криви

Недостигът на надвишение може да се изрази с формулата:

$$(5) \quad \Delta H^{нед} = 11,8 \cdot \frac{v^2}{R} - H = H_m - H \leq \Delta H_{lim}^{нед} \quad [\text{mm}]$$

В специализираната литература недостигът на надвишение се определя като функция на проектната скорост за пътническите влакове [4], ако линията е за смесено движение – фиг.3.



**Фиг.3.**Недостиг на надвишение при пътническите влакове

Недостигът на надвишение по [5] може да се даде в табличен вид Таблица 1.

Гранични стойности на недостига на надвишение

Таблица 1

Скорост V в km/h	Недостиг на надвишение $\Delta H^{\text{нед}}$ , в mm	Максимален недостиг на надвишение $\Delta H^{\text{нед}}_{\text{max}}$ , в mm
80-200	130	183
200-230	130	168
230-250	130	153
250-300	100	130

#### 4. Излишък на надвишение

Излишъкът на надвишението се определя по формулата:

$$(6) \quad \Delta H^{\text{изл}} = H - 11,8 \cdot \frac{v^2}{R} = H - H_m \quad [\text{mm}]$$

Нормално излишъкът на надвишението е до 110 mm [5].

#### 5. Максимални и минимални радиуси на кривите

Минималният радиус за хоризонтални криви е 190 м, а по изключение – 150 м. Тези малки радиуси водят до допустима скорост, по-малко от 80 км/ч.

При избора на минималния радиус на хоризонтална крива в междугарието трябва да се спазват следните изисквания: максимална и минимална скорост; приложено надвишение; граници за недостига и излишъка на надвишение.

За всяка комбинация от максимална скорост  $V_{\text{max}}$  и максимален недостиг на надвишение  $I_{\text{lim}}$ , минималният допустим радиус на кривата се изчислява [5] по следната формула:

$$(7) \quad R_{\text{min}} = 11,8 \frac{v_{\text{max}}^2}{H + \Delta H_{\text{lim}}^{\text{нед}}}. \quad [\text{m}]$$

При  $H > \Delta H_{\text{lim}}^{\text{нед}}$ , максимално допустимият радиус на кривата за минимална скорост  $V_{\text{min}}$  се изчислява по следната формула:

$$(8) \quad R_{\text{max}} = 11,8 \frac{v_{\text{max}}^2}{H - \Delta H_{\text{lim}}^{\text{изл}}}. \quad [\text{m}]$$

Препоръчително е радиусът на трасето по протежението на гарови перони да не бъде по-малък от 500 м, както бе споменато по-горе. Това ограничаване идва от свободното разстояние между перона и возилото и е за улесняване на безопасното качване и слизане на пътниците.

#### 6. Преход на надвишението

Преходът на надвишението  $\frac{dH}{ds}$  се ограничава:

$$(9) \quad \left( \frac{dH}{ds} \right)_{\text{max}} \leq \left( \frac{dH}{ds} \right)_{\text{lim}} \quad [\text{mm/m}]$$

Нормално преходът на надвишението е 2,25 mm/m [5]. По изключение се допуска 2,50 mm/m.

## 7.Скорост на нарастване на надвишението

Скоростта на нарастване на надвишението  $dH/dt$  се определя различно за праволинеен и нелинеен преход на надвишението.

Нормално преходите на надвишението съвпадат с преходните криви. При реконструкция може да се наложи преходите на надвишението да навлязат в кръгови криви или прави.

За преходите на надвишение с постоянен наклон на прехода, се прилага следното отношение с  $\Delta H$  като промяна надвишението:

$$(10) \quad \frac{dH}{dt} = \frac{\Delta H}{L_{ПК}} \cdot \frac{v}{3,6} \leq \left( \frac{dH}{dt} \right)_{lim} \quad [\text{mm/s}]$$

където:

$L_{ПК}$  – дължина на прехода на надвишението в m.

$v$  – скоростта на возилото в km/h.

$\Delta H$  – надвишение на външната релса в mm.

Нормалните граници и граници по изключение за скорост на нарастване на надвишението са дадени в Таблица 2.

Гранични стойности на скоростта на нарастване на надвишението Таблица 2

Недостиг на надвишение $\Delta H^{нед}$ в mm	Максимална скорост на нарастване, mm/s	По изключение, mm/s
$\Delta H^{нед} \leq 168$	50	70
$168 < \Delta H^{нед} < 183$	50	50

За преходи на надвишението с променлив наклон на надвишението, стойността на  $dH/dt$  е постоянна.

$$(11) \quad \left( \frac{dH}{dt} \right)_{max} \leq \left( \frac{dH}{dt} \right)_{lim} \quad [\text{mm/s}]$$

Нормално скоростта на нарастване на надвишението е 55 mm/s. По изключение се допуска 76 mm/s.

Поради ограничения опит от прилагане на преходи с променлив наклон, ограниченията за скоростта на смяна на надвишението са примерни, съгласно [5]. Те могат да бъдат заменени от ограниченията за втората производна на надвишението по отношение на времето ( $d^2D/dt^2$ ).

Въвеждането на недостига (излишъка) на надвишението като основна мярка в Наредба 55, изисква още: разглеждане на скоростта на нарастване недостига на надвишението; разглеждане на дължината на преходната крива и прехода на надвишение при отделните видове преходни криви и състояния при реконструкция на жп линии.

## 8.Изводи

- Необходимо е прецизно изследване и постепенно въвеждане на недостига и излишъка на надвишението в железопътната практика на българските железници.

- За безпроблемното въвеждане на недостига и излишъка на надвишението в Наредба 55 е необходимо определяне на подходящи опитни участъци, в които да се определи, изгради и наблюдава надвишението, определено по формулите за недостиг (излишък) на надвишение. Наблюдението на поведението му, чрез подходящи измервания, трябва да продължи поне 1 година и след това да се направи анализ за неговото въвеждане.

## Литература

- [1]Наредба 55, Д. вестник, бр. 18 от 05.03.2004 и бр.20 от 12.03.2004 г., София
- [2]Турбин И.В., Д.В.Гавриленко, И.И.Кантор и др.- "Изыскания и проектирование железных дорог" - Транспорт М. 1989 г.
- [3]Яковлева Т. и Н. И. Карпушенко, С.И. Клинов, Н.Н. Путря, М. П. Смирнов, Железнодорожный путь, Москва, Транспорт, ISBN 5-777-02215-5, 1999, p.407
- [4]Lichterberger В., Track compendium, Eurail press, ISBN 3-7771-0320-9, 2005, p.633
- [5]БДС EN 13803-1 Railway applications - Track - Track alignment design parameters - Track gauges 1435 mm and wider - Part 1: Plain line, Релсов път. Проектни параметри на железния път в план. Железен път с междурелсие 1435 mm и по-широко. Част 1: Обикновена линия 2010, p.70

## TRAIN RUNNING ON HORIZONTAL CURVES - THE CANT DEFICIENCY AND EXCESS

**Stoyo Todorov**  
[stoyo.todorov@gmail.com](mailto:stoyo.todorov@gmail.com)

*University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy*  
*1048 Sofia, "Hristo Smernenski" № 1*  
**BULGARIA**

**Key words:** *design of railways, cant deficiency, design speed*

**Abstract:** *The movement of trains on horizontal curves is associated with a number of events: an extension of track gauge in curves with small radiuses; cant on the external rail; appearance, action and disappearance of forces; variable balance between both centrifugal and centripetal accelerations; onset, development and damping of vibration and oscillate forces.*

*They should all be taken into consideration in the design of track geometry and track different rails. Lately in Bulgaria again talked about deficiency and excess cant in train running on horizontal curves and its inclusion in the "Standards for the design of railway lines" or Regulation 55 as it is now called.*