

## **ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СПИРАЧНАТА СИЛА И ОЦЕНКА НА ОПАСНИТЕ УЧАСТЪЦИ ПО ЖП МРЕЖАТА НА РБ**

**Стойо Тодоров, Кина Куцарова**

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

***Ключови думи:** проектиране на жп линии, спиращен режим, опасни участъци*

***Резюме:** Методиката за определяне на спиращата сила съгласно, изискванията на международния съюз на железниците UIC, се различава от преподаваната у нас. В Университета по архитектура, строителство и геодезия, за нуждите на проектирането на трасето на железопътни линии, се преподава изчисляване на теглителната, съпротивителните и спиращи сили по нагледен и лесен за прилагане начин. За спиращата сила той се основава на триенето на калодки по бандажа на колелото. При преминаване на руски вагони през гранични преходи към ЕС се налага да се премине към системата на UIC. Това става с приравнителни таблици.*

*Основна част от техническите характеристики на спиращата система на вагоните за международни съобщения е спиращата маса. Тя определя ефективността на действието спиращата сила и служи за определянето на допустимата скорост при експлоатация. При пътническите вагони все повече се срещат и дискови спиращки, което е още едно основание за осъвременяване на методиката.*

*Опасните участъци при използване на спираща сила са тези, където има съсредоточени големи надолници. "Продължително надолнице" е отсечка от железния път с надлъжен профил над 14‰ спускане с дължина, равна или по-голяма от предсигналното спиращо разстояние [1].*

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Основните измерители на спиращата ефективност са спиращен път, спираща сила, спиращото тегло на пътническите или товарни вагони, спираща маса, спиращен процент, специфична мощност и специфична спираща сила. Отделните железопътни администрации разглеждат тези елементи, а и други подобни, в различна светлина, като някои от тях даже са загубили физическия си смисъл.

При проектирането на жп линии изчисляването на спиращата сила, става по нагледен и лесен за прилагане начин, основаващ се на триенето на калодки по бандажа на колелото.

## **2 ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СПИРАЧНАТА СИЛА**

### **2.1 Съществуваща методика и изчисления**

Методиката за определяне на спиращата сила съгласно, изискванията на международния съюз на железниците UIC, се различава от преподаваната [2, 3]. В университета се преподава изчисляване на спиращата сила по нагледен и лесен за

прилагане начин. Тази система е възприета в страните от бившия Съветски съюз, ОСЖД и до сега.

Основна част от техническите характеристики на спирачната система на вагоните за международни съобщения е спирачната маса. Тя определя ефективността на действието спирачната сила и служи за определянето на допустимата скорост при експлоатация. Стойността ѝ съответства на режима на спиране, указан на режимния превключвател на всеки вагон.

Спирачната маса на пътническия подвижен състав се определя по формулата:

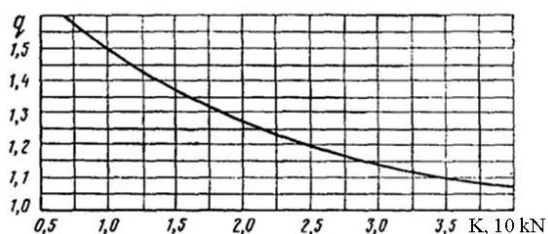
$$(1) \quad B = \sum K \cdot q$$

където:

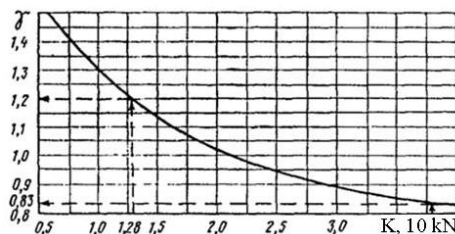
$\sum K$  – сумарна сила на притискане на чугунените калодки в 10 kN;

$q$  – емпиричен коефициент, получен като функция от силата на притискане на спирачната калодка фиг.1.

Коефициентът  $q$  отразява практически установеното съотношение между сумарната натискова сила, действаща във фриktionните възли на една колоос към предаваната от тази колоос към релсата нормална сила.



Фиг. 1 Диаграма за определяне на коефициента  $q$  от натиска  $K$  на една калодка [3]



Фиг. 2 Диаграма за определяне на коефициента  $\gamma$  от натиска  $K$  на една калодка [3]

Спирачната маса на товарни вагони се определя по формулата:

$$(2) \quad B = \frac{10}{7} \sum K \cdot \gamma$$

където:

$\sum K$  – сумарна сила на притискане на чугунените калодки в 10 kN;

$\gamma$  – емпиричен коефициент, получен като функция от времето за напълване на спирачния цилиндър, скока на началното налягане и силата на притискане на спирачната калодка фиг.2.

Ако са известни  $\sum K$ ,  $q$  и  $\gamma$ , то може да се определи спирачната маса на пътническия или товарен вагон. Или знаейки изискваната спирачна маса, може да се избере необходимата сила на натиск на калодката за дадения вагон.

Спирачният път или разстоянието за забавяне на скоростта се определя като разстоянието между първото включване на спирачката и достигането на крайната скорост [4, 5] :

$$(3) \quad s_0 = v_0 \cdot t_e + \frac{v_0^2 - v_{fin}^2}{2 \times a_e}$$

където:

$s_0$  – спирачен път или разстояние за забавяне на скоростта в m;

$t_e$  – общо еквивалентно време за реакция в s;

$v_0$  – начална скорост в m/s;

$v_{fin}$  – финална скорост (0 в случай на спирачен път) в m/s;

$a_e$  – еквивалентно закъснение  $m/s^2$ ;

Еквивалентното забавяне или отрицателно ускорение е равно на средно отрицателно ускорение по отношение на разстоянието по време на спиране в определен диапазон на скоростта и е приложимо за целия влак.

Еквивалентното отрицателно ускорение  $a_e$  се основава на изчисление с пълни спирачни сили за всички функциониращи типове спирачно оборудване [4, 5].

$$(4) \quad a_e = \frac{\sum \overline{F_{B,i}} + \sum \overline{F_{ext}}}{m_{dyn}}$$

където:

$a_e$  – еквивалентно закъснение  $m/s^2$ ;

$\overline{F_{B,i}}$  – средна спирачна сила от спирачна система  $i$  в N;

$\overline{F_{ext}}$  – средна външна сила в N;

$m_{dyn}$  – динамична маса на влака ( $m_{dyn}=m_{st}+m_{rot}$ ) в kg;

## 2.2 УДВ при спирачен режим

Спирачният режим се използва:

- при необходимост от поддържане на определена, постоянна скорост на движение на състава, когато последният се намира в режим на свободно, ускоряващо се движение;

- при необходимост от понижаване скоростта на движение на състава;

- при необходимост от пълно спиране на влака.

Уравнението на движението на влака при този режим има вида

$$(5) \quad \frac{dv}{dt} = \xi \cdot (-w_{6T} - \alpha \cdot b)$$

## 3 АНАЛИЗ НА ЖЕЛЕЗОПЪТНАТА МРЕЖА ОТНОСНО ОПАСНИ УЧАСТЪЦИ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА СПИРАЧЕН РЕЖИМ

Предмет на настоящата разработка е движението на влаковете и взаимодействието им с пътя в участъци от железопътната мрежа на Република България с голям надлъжен наклон. Съгласно Регламент (ЕС) N1302/2014 [6] влаковите съставни единици трябва да бъдат оборудвани с главна спирка, използвана по време на експлоатация за работно и аварийно спиране, като системата за управление на спирането трябва да има три режима на управление:

- Аварийно спиране;
- Спиране при нормално движение;
- Застопоряване при спряло състояние

Интерес за изследването представлява спирането при нормални условия. При него се прилага регулируема спирачна сила, за да се управлява скоростта на влака, включително спиране и временно застопоряване.

Разгледани са надлъжните профили на всички железопътни участъци по линии от I<sup>ва</sup> до IX<sup>та</sup> и са избрани дълги участъци с голям надлъжен наклон в които се очаква влаковете да се движат в спирачен режим таблица №1.

Списък на опасните участъци по жп мрежата

Таблица №1

	Направление	Междугарие	Обща дължина	Среден наклон
V-III	София-Калотина	Сливница - Алдомировци	5160 m	15,37‰
		Алдомировци - Драгоман	4720 m	15,56‰
		Драгоман - Драгоил	6080 m	19,02‰
		Драгоил - Калотина	3890 m	20,00‰
		Калотина – граница Сърбия	3005 m	18,74‰
	София-Ихтиман	Побит камък – Вакарел	8410 m	23,44‰
I	Ихтиман - Септември	Вакарел - Ихтиман	7920 m	18,46‰
		Немирово - Сестримо	7660 m	23,34‰
	Червен бряг-Плевен	Червен бряг – Долни Дъбник	8917 m	15,45‰

	Направление	Междугарие	Обща дължина	Среден наклон
	Плевен-Левски	Плевен - Гривица	6030 m	15,36‰
		Гривица - Пордим	4410 m	18,02‰
		Гривица - Пордим	5270 m	17,77‰
	Горна Оряховица - Попово	Горица - Медовина	7325 m	24,26‰
Медовина - Попово		4360 m	14,22‰	
III Л-Я	Столник - Пирдоп	Макоцево - Мирково	4940 m	13,93‰
	Пирдоп - Карлово	Пирдоп - Копривщица	6320 m	13,70‰
		Клисура – Христо Даново	7092 m	13,74‰
Тулово - Зимница	Твърдица - Шивачево	4100 m	13,90‰	
IV Л-Я	мост р. Дунав – Г. Оряховица	Русе - Доростол	6780 m	16,78‰
		Борово - Морунница	3168 m	23,22‰
		Морунница – Полско Косово	6341 m	24,94‰
		Янтра - Акация	4960 m	15,00‰
	Г. Оряховица - Кръстец	Плачковци - Радевци	6970 m	23,21‰
		Радевци - Кръстец	8640 m	22,40‰
	Кръстец - Дъбово	Кръстец - Борушица	6540 m	22,49‰
		Борушица - Радунци	5005 m	22,83‰
		Радунци - Яворовец	8360 m	22,54‰
	Тулово – Стара Загора	Яворовец - Дъбово	5260 m	17,96‰
		Ягода - Змейово	5735 m	18,71‰
	Димитровград - Перперек	Змейово – Стара Загора	11575 m	20,87‰
		Царева поляна – Мост	5450 m	21,83‰
V Л-Я	София - Радомир	Горна баня – Владая	7666 m	24,71‰
		Владая – Драгичево	4792 m	22,32‰
	Радомир - Дупница	Делян – Марек	3500 m	15,47‰
VI Л-Я	Кюстендил – Гюешево	Совоялно – Церовица	8346 m	16,27‰
		Долно село – Преколница	5580 m	20,00‰
VII Л-Я	Мездра – Враца	Руска Бела - Враца	4300 m	15,78‰
	Враца – Брусарци	Враца – Враца Запад	4220 m	15,86‰
		Медковец – Брусарци	4185 m	22,00‰
	Брусарци - Видин	Дреновец – Воднянци	7050 m	15,63‰
		Орещец – Димово	7400 m	21,44‰
Срацимир – Видбол	6895 m	21,32‰		
IX Л-Я	Русе разпред. – Разград	Русе разпр. – Образцов чифлик	3790 m	23,54‰
	Разград – Каспичан	Висока поляна - Хитрино	9950 m	16,05‰
		Каменяр – Велино	4110 m	16,99‰

### 3.1. Критерии за предварителния подбор на участъците

**Дължина;** Според наредба 58 [1] за правилата за техническата експлоатация, движението на влаковете и сигнализацията в железопътния транспорт предсигналните спиращи разстояния за стандартните жп линии са 1500, 1200, 1000 и 700 m. Освен това не се допуска спиращият път да надвишава предсигналното спиращо разстояние за даденото междугарие. Изхождайки от предписанията на наредба 58 дължините на избраните участъци е над 3000m, което е значително повече от максималното предсигнално спиращо разстояние.

**Стръмнина;** Отново според наредба 58 продължителни надолнища по-големи от 15‰ трябва да бъдат специално обозначени. Когато профилът на железния път между предупредителния и входния светофор е в надолнище към гарата с наклон 14 ‰ и повече, дежурният ръководител движение дава съгласие за приемане на влак, само ако има свободен приемане коловоз, маршрутът е подготвен за него и маневрата е прекратена. Стръмнината на избраните участъци е между 8 и 27‰. При такива наклони се предполага, че за поддържане на безопасна скорост по надолнище ще е необходимо да се използва спиращка.

**Съчетание на съседни елементи;** Според Регламент (ЕС) N1302/2014 в частта за изчисления във връзка със способността за поемане на топлинни натоварване максималният наклон на линията, съответната дължина и експлоатационната скорост,

за която е проектирана спирачната система във връзка със способността за поемане на топлинно натоварване се определя чрез изчисляване при състояние на „максимално спирачно натоварване“, като работната спирачка се използва за поддържане на постоянна експлоатационна скорост на влака. Еталонният случай за наклон, който следва да бъде взет предвид е поддържане на скорост 80 км/ч по наклонен участък с постоянен наклон 21‰ в рамките на 46 км.

Според наредба 58 [1] "Продължително надолнище" е отсечка от железния път с надлъжен профил над 14‰ спускане с дължина, равна или по-голяма от предсигналното спирачно разстояние.

Имайки предвид гореизброените условия избраните за изследване части от железопътната мрежа са съставени от профилни участъци с последователни еднопосочни наклони със средна стойност между от 13,70‰ до 24,94‰ и обща дължина от 3000 до 11500m.

### 3.2.Описание на участъците

Разглежданите участъци са представени в таблица 1 и нанесени на фиг.3. Най-важните характеристики са дължината и средния им наклон. Средният наклон за всяко разглеждано междугарие е изчислен по формулата:

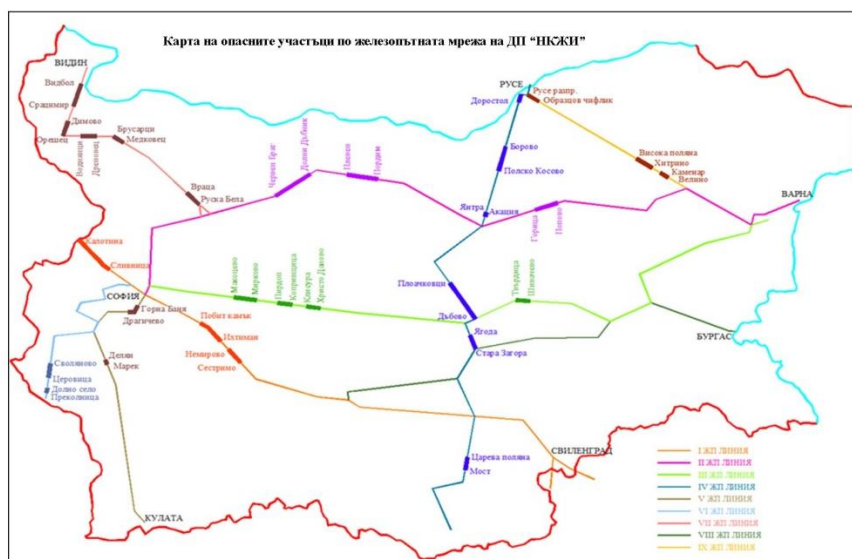
$$(6) \quad i_{срj} = \frac{\sum_1^n l_i \times i_i}{\sum_1^n l_i}$$

където:

$i_{срj}$  – среден наклон за междугарие в [‰]

$l_i$  – дължина на профилен елемент от разглежданото междугарие в [m]

$i_i$  – наклон на профилен елемент от разглежданото междугарие в [‰]



Фиг. 3 Карта на опасните участъци по мрежата на ДП „НКЖИ“.

### 4.Изводи

Направеното проучване и анализ на опасните участъци по мрежата на ДП „НКЖИ“ води до извода, че поне на 25 места от мрежата, видно от картата на фиг.3, трябва да се поставят т.н. контролни точки или „чек пойнтове“ за проверка и на спирачките. Съпоставени са критериите за избор на опасните участъци у нас и в ЕС.

### 5.Заклучение и препоръки

Направеното проучване и докладването по него е само началото на изследователска задача. Необходимо е да се продължи изследването с проверка на

място, доколко опасните участъци съответстват на екзекутивните чертежи в ДП „НКЖИ“, какви мерки се вземат сега и как те могат да се усъвършенстват.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Наредба 58 от 2.08.2006 г. за правилата за техническата експлоатация, движението на влаковете и сигнализацията в железопътния транспорт, издадена от министъра на транспорта, обн., ДВ, бр.73 от 5.09.2006 г., изм., бр.88 от 2007 г., изм. и доп., бр.43 от 2009 г., бр.68 от 2014 г., и бр.97 от 23.11.2018 г., в сила от 24.02.2019 г.
- [2] Николов В., Тодоров С., Пътища и железопътни линии, учебник, УАСГ, ISBN 978-954-12-0205-0, 2011 г., 471 стр.
- [3] Гребенюк П.Т., Правила тормозных расчетов, Интекст, Москва 2004, ISBN 5-89277-051-6, 112 стр.
- [4] UIC Leaflet 544-1: Brakes - braking performance
- [5] *DIN EN 14531-1:2005: Railway applications - Methods for calculation of stopping distances, slowing distances and immobilisation braking - Part 1: General algorithms*, May 2005,
- [6] *DIN EN 14531-6:2009: Railway applications - Methods for calculation of stopping and slowing distances and immobilisation braking - Part 6: Step by step calculations for train sets or single vehicles*
- [7] Регламент (ЕС) N1302/2014 COMMISSION REGULATION (EU) No 1302/2014 of 18 November 2014 concerning a technical specification for interoperability relating to the ‘rolling stock — locomotives and passenger rolling stock’ subsystem of the rail system in the European Union, Official Journal of the European Union, L 356/228-393

## **DETERMINATION OF BRAKING FORCE AND ASSESSMENT OF DANGEROUS SECTIONS OF THE RAILWAY NETWORK OF THE REPUBLIC OF BULGARIA**

**Stoyo Todorov, Kina Kucarova**

*University of architecture, civil engineering and geodesy, Sofia,  
BULGARIA*

**Key words:** *railway track design, braking mode, hazardous sections on track*

**Abstract:** *The methodology for determining the braking force according to the requirements of the international union of railway UIC differs from that taught in our country. At the University of architecture, civil engineering and geodesy, traction, resistance and braking forces are taught in a straightforward and easy-to-use way for the design of the track. For braking forces, it is based on the friction of blocks on the wheel rim. When crossing Russian wagons across border crossings to the EU, it is necessary to move to the UIC system. This is done with matching tables.*

*A major part of the technical characteristics of the braking system of international vehicle wagons is the brake mass. It determines the effectiveness of the braking force and serves to determine the permissible speed in use. Passenger cars are more and more disc brakes, which is another reason for updating the methodology.*

*Dangerous areas when using braking force are those where there are concentrated large downhill. "Prolonged downhill" is a section of the track with a longitudinal profile of more than 14% downwards with a length equal to or greater than the predetermined stopping distance [1].*