



Получена: 27.03.2020 г.

Приета: 10.04.2020 г.

КРИТИЧНИ УЧАСТЪЦИ ОТ ЖЕЛЕЗОПЪТНАТА ИНФРАСТРУКТУРА ПРИ СПИРАНЕ ЗА ПОДДЪРЖАНЕ НА ОПРЕДЕЛЕНА МАКСИМАЛНА СКОРОСТ

К. Куцарова-Димитрова¹

Ключови думи: проектиране на жп линии, спиране, оперативна съвместимост на железопътните линии в ЕС

РЕЗЮМЕ

Спирачен режим се използва при спиране на влака на гара или спирка, намаляване на скоростта за поддържане на определена максимална скорост и при застопоряване на влака срещу самоволно потегляне. Ограничаването на скоростта в продължителни и стръмни надолници от условието за спиране пред препятствие води до екстремно използване на спирачките. Калодките, колелата и носачите на лагерите се загряват до опасни стойности. Възможно е отчупване на парче, загрято до червено, което да отхвъркне и да предизвика пожар.

Статията търси теоретично и практическо решение за определяне на тези опасни участъци чрез: решение на уравнението за движение на влака при спирачен режим; определяне на опасните стръмни участъци по железопътната инфраструктура; изследване на скоростите, режимите на движение и дължината на спирачния път. Те са важни и от гледна точка на оперативна съвместимост на железопътните линии в ЕС.

1. Въведение

Оразмеряването на железопътната линия става при равномерно движение. По ръководещия наклон се движи влак, теглен от един локомотив с разчетна теглителна сила, движейки се с постоянна разчетна скорост на локомотива и теглещ вагони с разчетно

¹ Кина Куцарова, гл. ас. д-р инж., кат. „Железници“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: kina_kutzarowa@abv.bg

тегло. Това е определението за оразмеряване на железопътна линия при разчетни елементи на подсистемите: инфраструктура и подвижен железопътен състав [1]. При спускане по силно наклонени участъци от пътя, машинистът трябва да държи сметка за възможността за спиране пред препятствие. Задава се разстоянието за спиране пред препятствие. Съгласно Наредба 58 [2] 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.

2. Решение на спиращата задача

Уравнението за движение на влака [3] дава връзката между резултатната сила, действаща на влака и ускорението. То показва какво ускорение ще получи влакът от единица резултатната сила:

$$\frac{dv}{dt} = \zeta r, \quad (1)$$

където $\frac{dv}{dt}$ е ускорение на влака;

ζ – ускорение, съответстващо на относителна резултатна сила 1 daN/t;

r – относителна резултатна сила за съответния режим на движение.

При спиращ режим резултатната сила е:

$$r_c = -w_{\text{от}} - \alpha b, \quad (2)$$

където r_c е относителна резултатна сила при спиращ режим, daN/t;

$w_{\text{от}}$ – основно относително съпротивление при безтягов режим в daN/t;

α – коефициент, отчитащ вида на спирането. При служебно спиране $\alpha = 0,5$, при спиране пред препятствие $\alpha = 1$;

b – относителна спираща сила, daN/t.

От гледна точка на математиката решението на уравнението за движение на влака е решаване на задача на Коши за частно диференциално уравнение с начално условие [4]. Задачата на Коши няма точно решение. Това води до голям брой приблизителни решения, публикувани от редица известни математици. Известни са: решение на Ойлер [3], решения на Рунге-Кута от различен ранг, решение на Рунге-Кута-Фелберг [4] и т.н.

Използването на решенията на уравнението за движение на влака е в областта на симулиране на движението на влака [5], автоматично управлението на локомотива и проектиране на жп линии [6]. При проектирането на жп линии се определят: характерът на движението, скоростта на движението в зависимост от пътя $v = f(s)$, времето в зависимост от пътя $t = f(s)$, теглото на влака Q , ръководещия наклон i_p , решенията на спиращи задачи, инерционни изчисления, определяне на енергийните [6] и експлоатационните разходи за сравнение на железопътни варианти [7, 8].

При спиране на влака в наклон уравнение (1) придобива вида:

$$\frac{dv}{dt} = \zeta (-w_{\text{от}} - \alpha b \pm i) r. \quad (3)$$

Изминатият спирачен път от дадена начална скорост v_n до $v_{кр} = 0$ е:

$$S = \sum_n^{i=1} \Delta S_i = \sum \frac{4,17(v_{1i}^2 - v_{2i}^2)}{(w_{\sigma r} + zb \pm i)}. \quad (4)$$

Спирачната възможност на влака се състои в това да се осигури спиране в рамките на определено спирачно разстояние. Спирането на влака трябва да се гарантира за всички възможни конфигурации на пътя.

Спирачната маса представлява оценка на спирачните възможности на влака.

За оценка на спирачната ефективност на влака се използват „криви за оценка на спирачката“. От кривите за оценка на спирачката [9] може да се отчете необходимият спирачен процент на влака λ [%]: $\lambda = f(v_0, s)$. В конкретното разглеждане кривите за оценка на спирачката са използвани за отчитане на скоростта в зависимост от наклона при зададен спирачен път и минимална стойност на спирачния процент. Данните са представени в таблица 1.

Таблица 1. Изменение на скоростта в зависимост от наклона на пътя

Наклон ¹ , ‰	Спирачен път 700 m		Спирачен път 1000 m		Спирачен път 1200 m	
	Спирачен процент, %	Скорост, km/h	Спирачен процент, %	Скорост, km/h	Спирачен процент, %	Скорост, km/h
+20	40	90	41	110	40	120
+10	55	90	44	100	44	110
0	55	80	47	90	48	100
-10	55	70	51	80	53	90
-20	45	50	46	60	48	70

Изводът от таблица 1 е, че увеличаването на стръмнината на наклона при слизание води до ограничаване на скоростта на влака по спирачка.

3. Оценка на критичните участъци

Критичните участъци с продължителни и стръмни надолници от условията за спиране пред препятствие и екстремно използване на спирачките за поддържане на зададена максимална скорост се определят въз основа на няколко условия. Критериите за оценка на дадено надолнище като продължително са разработени на база на:

- Наредба 58 [2].
- Регламент (ЕС) No 1302/2014 [10].
- Regulation (EU) No 1299/2014 [11].

Критериите за оценка на продължително надолнище са:

- **Дължина.** Не се допуска спирачния път да надвишава предсигналното спирачно разстояние за даденото междугарие. Предсигналните спирачни разстояния за стандартните жп линии са 1500, 1200, 1000 и 700 m [2].

¹ „+“ – качване; „-“ – слизание

- **Стръмнина.** 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%, повече е необходимо да се предприемат специални мерки за приемане на влака в гарата [2].
- **Съчетание на съседни елементи.** „Продължително надолнище“ е отсечка от железния път с надлъжен профил над 14‰ спускане с дължина, равна или по-голяма от предсигналното спиращо разстояние [2]. От гледна точка на оперативната съвместимост е допустима пълзяща средна стойност на наклона в рамките на 10 km, по-малка или равна на 25‰ [11].

Като се имат предвид гореизброените условия, като продължителни надолнища се определят участъци с еднопосочни последователни наклони между 13‰ и 27‰ и дължина повече от 3000 m. Обобщени данни от проучването на надлъжните профили на всички линии от железопътната мрежа на България са дадени в табл. 2.

Таблица 2. Критични участъци

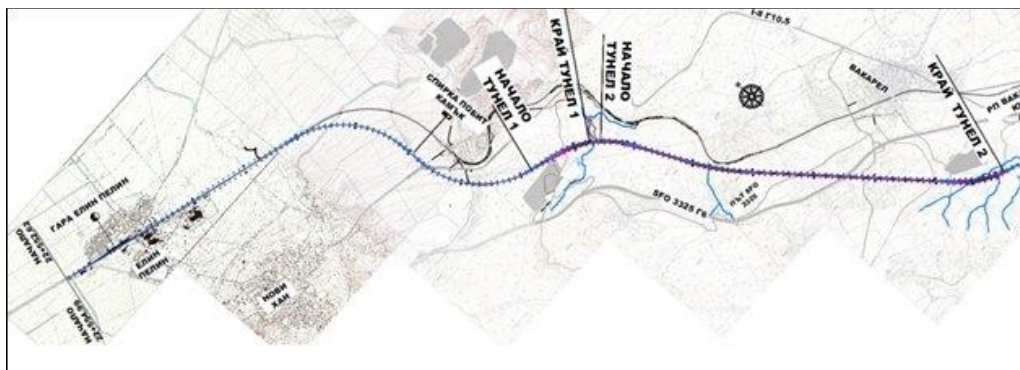
Жп линия	Брой на опасните участъци	Min и max наклон, ‰	Min и max дължина, m
I	8	15,37÷23,44	3005÷8410
II	6	14,22÷24,26	4360÷8917
III	4	13,70÷13,93	4100÷7092
IV	13	15,00÷24,94	3168÷11575
V	3	15,47÷24,71	3500÷7666
VI	2	16,27÷20,00	8346÷5580
VII	6	15,78÷22,00	4220÷7400
IX	3	16,05÷23,54	3790÷9950

Профилните участъци за железопътната мрежа на България са с последователни еднопосочни наклони със средна стойност между от 13,70‰ до 24,94‰ и обща дължина от 3000 до 11500 m, което означава, че са спазени изискванията за оперативна съвместимост на наклоните, залегнали в Regulation (EU) No 1299/2014 [11].

4. Безопасност на движение при продължителни надолнища

Решенията, свързани с опасните участъци при движение на влака в спиращ режим, са две: премахване на опасните участъци и подобряване на оперативната работа, или експлоатация на трасето.

Премахването на критичните участъци е възможно при реконструкция и модернизация на железопътните линии [8, 12]. Това става при реконструкциите по европейските програми „Транспорт“ 2007 – 2014 г., „Транспорт и транспортна инфраструктура“ 2014 – 2020 г. и „Механизъм за свързана Европа“. Най-често това става чрез строителство на тунел и промяна на трасето. Например в технически проект за: „Модернизация на железопътната линия София – Пловдив: жп участък София – Елин Пелин“ се предвижда изграждането на поредица от тунели (фиг. 1).



Фиг. 1. Промяна на трасето на жп линия за избягване на критичен участък

Вторият начин за подобряване на безопасността на движението е построяване на контролни точки. В тях се измерва температурата на буксата, колелото и калодката, осовото натоварване, разположение на натоварването по колооси, габарита, проверка за окопани бандажи. Ако температурата е много висока и има опасност от пожар [13] в селскостопански и горски площи, то влакът трябва да изчака в най-близката гара, докато температурата се нормализира. Най-често това става с дълги тежки товарни влакове [14].



Фиг. 2. Изпълнена контролна точка в междугарието Зимница – Стралджа

Контролни точки за подобряване на оперативната работа и експлоатация би следвало да се изградят приоритетно в участъците от мрежата намиращи се по направление на трансевропейските коридори [12]:

- участък Калотина – Сливница, част от жп линията София – граница с Република Сърбия (транспортен коридор 10);
- Плачковци – Дъбово, участък, намиращ се по направлението Русе – Александрополис (транспортен коридор 9);
- Видбол – Орещец, участък, намиращ се по направлението Видин – София – КПП „Кулата“ (транспортен коридор 4).

5. Изводи

Решенията, свързани с критичните участъци при движение на тежки товарни влакове на спиращен режим по продължителни надолнища, са две:

- Премахване на критичните участъци с изграждане на тунели и промяна на трасето така, че да се намали надлъжният наклон в участъка.
- Подобряване на оперативната работа или експлоатация на трасето с големите опасни наклони чрез изграждане на контролни точки. Целта е недопускане на критична ситуация с организационни мерки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Todorov, S.* Research of the factors determining the safety of train movement under breaking – interoperability, Proceeding year 3 volume 3/7, 11-14 December 2019, ISSN (print) 2535-0153, ISSN (Online) – 2535-0161, <http://industry-4.eu/winter/sbornik/2-2018.pdf>.

2. *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.

3. *Тодоров, С.* Проектиране и строителство на жп линии. София, печатна база на УАСГ, 2006, 334 стр.

4. *Тодоров, С.* Приложение метода Рунге-Кута-Фелберг для решения уравнения движения поезда. IV Международная конференция „Проблем прочности материалов и сооружений на транспорте“ Санкт Петербург, 29-30.06.1999 г., стр. 145-150, http://library.pgups.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=108.

5. *Schoebel, A., S. Todorov.* Simulation of railway operation for estimation of demand on railway infrastructure. Международна юбилейна научно-приложна конференция УАСГ2012, ISBN 978-954-724-049-0, 15-17 November 2012, vol. 3, p. 231-236.

6. *Тодоров, С.* Строителство на жп линията Пловдив-Свиленград фаза 1, Крумово-Първомай. Научна конференция с международно участие, БулТранс-2009, ISBN 1313-955, ТУ, Созопол, 24-26.09.2009, стр. 183-1866.

7. *Тодоров, С.* Проблемно проектиране на варианти в участъка Карнобат-Лозарево, 14 МНК ВСУ'2014, ВСУ „Л. Каравелов“, 5-6 юни 2014, ISBN 1314-071X, том 4, стр. I-363-368.

8. *Тодоров, С., В. Попов.* Реконструкция на V железопътна линия София-Кулата в участъка Генерал Тодоров-Кулата. X международна научна конференция, ВСУ' 2010, 03.06.2010.

9. UIC CODE 544-1: Brakes – Braking performance. 6th edition, October 2014.

10. Commission Regulation (EU) No 1299/2014 of 18 November 2014 on the technical specifications for interoperability relating to the ‘infrastructure’ subsystem of the rail system in the European Union.

11. 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.

12. *Тодоров, С.* Транспортните коридори на Балканите и свързаност на коридор № 8, 14 МНК ВСУ'2014, ВСУ „Л. Каравелов“, 5-6 юни 2014, ISBN 1314-071X, том 3, стр. I-31-36.

13. *Тодоров, С.* Вредни фактори върху околната среда при проектиране и експлоатация на железопътни линии, НС'99 на РУ „Ангел Кънчев”, Научни трудове – Русенски университет „Ангел Кънчев“ – Русе, 1999, заб.: Продължение на Научни трудове – Висше техническо училище „Ангел Кънчев“ – Русе ISSN 0205-3322 7-8.10.1999 г. Русе, ISBN 1311-3321 (print) 2603-4123 (online).

14. *Тодоров, С.* Железопътен транспорт за обслужване на големи товародатели. Годишник на УАСГ, ISSN 1310-814X (print); ISSN 2534-9759 (online), София, том 51, бр. 7, 2018 г., 81-92 стр., https://www.uacg.bg/UserFiles/File/UACEG_Annual/2018/7.pdf.

CRITICAL SECTIONS OF RAILWAY INFRASTRUCTURE WHEN STOPPING TO MAINTAIN A SPECIFIC MAXIMUM SPEED

К. Kutzarova-Dimitrova¹

Keywords: railway design, braking, interoperability of EU railways

ABSTRACT

Braking mode is used to stop a train at a station or a stop, to reduce the speed to maintain a certain maximum speed and to stop the train against unintentional departure [1]. Limiting speed in long and steep slopes by the condition of braking against an obstacle leads to extreme use of the brakes. The blocks, wheels and bearing brackets are heated to dangerous values. It is possible to break a piece, heated to red, which will crack and cause a fire.

The paper seeks a theoretical and practical solution for the determination of these dangerous sections by: solution of the train movement equation under braking mode [2]; identification of dangerous steep sections of the railway infrastructure; study of speeds, moving modes and length of stopping distance [3]. They are also important in terms of the interoperability of EU railways [4].

¹ Kina Kutzarova-Dimitrova, Chief Asist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Railway construction”, UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: kina_kutzarowa@abv.bg