

РЕШАВАНЕ НА СПЕЦИФИЧЕН ТИП СПИРАЧНА ЗАДАЧА ЗА УСЛОВИЯТА НА МЕТРОПОЛИТЕНА НА ГР. СОФИЯ

Кирил ВЕЛКОВ

khvel@tu-sofia.bg

главен асистент, Технически Университет – София, катедра „Железопътна техника“, 1000 София,
бул. "Кл. Охридски" 8,
БЪЛГАРИЯ

Резюме: Настоящият доклад е посветен на начина и резултатите от изчисляването на зависимостта, характеризираща изменението на скоростта на движение V на метро вагоните като функция от спирачния път при спиране с т. нар. сривен клапан. На тяхната основа е изведена формула за изчисляването на V за всяка точка от изминатия спирачен път. Това е от голямо значение за определяне на характеристиките на някои стационарни съоръжения в новопроектираните участъци на метрополитена.

Ключови думи: метро, спирачен път, сривен клапан.

ВЪВЕДЕНИЕ

Метрополитенът, в сравнение с другите видове железопътен транспорт притежава редица особености в конструктивно и технологично отношение. Това се отнася в пълна сила и за спирачните задачи, решавани при експлоатацията на Метрополитена на гр.София. Настоящият доклад е посветен на решаването на точно такъв тип задача, а именно изчисляване на спирачния път на метровагоните, при спиране чрез т.нар. сривен клапан (СК).

МЕТОДИКА НА ИЗЧИСЛЕНИЕТО

Спирачната система на метровагоните притежава следните по-важни особености:

- Наличие на електродинамична (реостатна) спирачка, с която се извършват най-често регулировъчните спирания;
- Наличие на автоматична пневматична спирачна система (АПСС), изпълнена по двупроводната схема. Ползва се за окончателно установяване на състава, при скорости под 8 km/h . Също така тя е основен гарант за сигурността на движението. АПСС

може да се задейства освен от кранмашиниста и внезапните клапани, така и от (СК).

СК е монтиран под вагона и е свързан със спирачната магистрала. При навлизане на вагоните в глух коловоз, т.нар. „тупик“, на определено разстояние от края му се монтира специално неподвижно устройство, което задейства СК, предизвиквайки екстрено спиране на влака. Също така, на определени места се монтират и инерционни забавители, отварящи СК при навлизане на състава със скорост, по-висока от 35 km/h . Разстоянията, на които са разположени те, както и характеристиките на отбивачното съоръжение в края на коловоза, зависят от реализирания спирачен път при спиране чрез СК. В техническата документация на метровагоните не са показани данни за зависимостта $S = f(V_0)$, в която S е спирачен път, а V_0 началната скорост от която започва спирането. Поради това наложително е извеждането на формули за определяне параметрите на споменатата зависимост. За целта е решена спирачна задача при този тип спиране, както е показано по-долу.

Началните условия, при които е решена задачата са:

- Скорост, от която започва спиращият процес – $V_0 = 40 \text{ km/h}$;

- Интензивност на спиращия процес – екстрено спиране с пневматичната спираща система, чрез задействане на СК;

- Състав на влака – мотриса съставена се от 6 ненаселени (празни) вагона;

- Железопътен участък, на който се извършва спирането – прав, хоризонтален;

- Тип на фрикционните спиращи възли – калодкови, с композиционни „гребневи“ калодки. Общ брой на един вагон – 16 бр.;

- Сила на натиск на калодките към колелата – $17,7 \text{ kN}$;

- Коефициент на сцепление на колелата с релсите, за условията на Метрополитена – $\min 0,14$.

При тези начални условия е необходимо да се изчисли спиращият път на състава, с цел установяване на търсената зависимост. В действителност това е типична „права“ спираща задача за изчисляване на спиращия път, при известни характеристики както влака, така и на железопътния участък. Изчисленията, свързани с решаването на и протичат в последователност, както е показано по-долу.

1. Определяне на основното специфично съпротивление на състава – ω и на съпротивителната сила – W

Те се изчисляват за целия скоростен диапазон от $40 \div 0 \text{ km/h}$. Изчисляването се извършва съгласно (1) [2, 3]:

$$\omega = 1.22 + 0.016 \cdot V + 0.000207 \cdot V^2, \text{ N/kN} \quad (1)$$

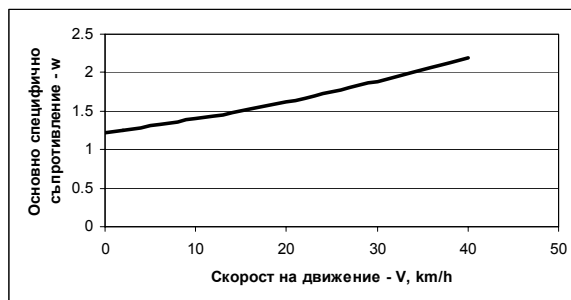
където V е скоростта на движение, km/h .

Съпротивителната сила от основното съпротивление на състава – W , се определя съгласно (2):

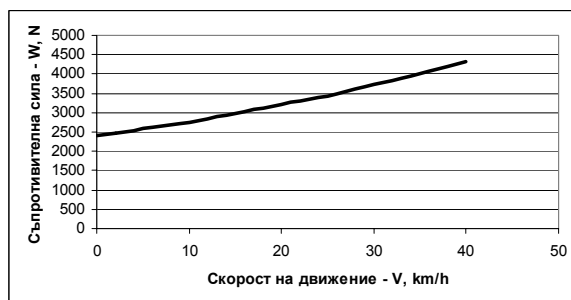
$$W = \omega \cdot M, \text{ N} \quad (2)$$

където M е масата на състава.

Резултатите от изчисленията са показани на фиг. 1 и 2.



Фиг. 1. Графика на функцията $\omega = f(V)$.



Фиг. 2. Графика на функцията $W = f(V)$.

2. Изчисляване стойностите на коефициента на триене между калодката и бандажа – φ_k

Извършено е в зависимост от скоростта на движение и силата на натиск на калодката – K , съгласно посочената в [1, 2, 3, 4] формула (3):

$$\varphi_k = 0.44 \frac{0.102K + 20}{0.41K + 20} \frac{V + 150}{2V + 150} \quad (3)$$

3. Изчисляване на стойностите на спиращата сила – B и на специфичната спираща сила – b

Изчисленията по тази стъпка от решаването на задачата се извършват по формули (4) и (5):

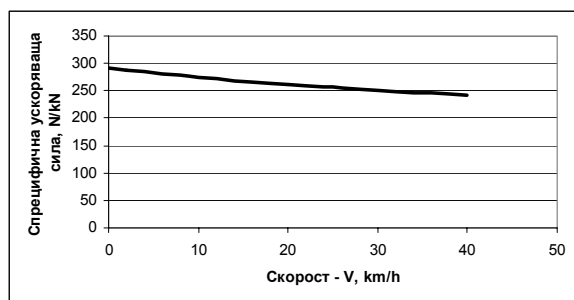
$$B = 1000 \varphi_k \sum_{i=1}^n K_i \quad (4)$$

където $i=1 \div n$ е брой на калодките в състава на влака.

$$b = \frac{B}{M} \quad (5)$$

4. Определяне на характера на изменение на специфичната ускоряваща сила за режим на екстрено спиране – $(b+\omega)$.

Търсеният характер на изменение е показан на фиг. 3.



Фиг. 3. Характер на изменението на специфичната ускоряваща сила.

5. Изчисляване на спирачния път – S

За определянето на S е необходимо да се реши диференциалното уравнение за движение на влака – УДВ. Това се извършва на базата на известния вече характер на изменение на специфичните сили в спирачен режим. За нуждите на изчислението УДВ се записва във вида [1, 2, 3, 5]:

$$\frac{dV}{dt} = \xi(f_k \pm \omega + \omega_r - b \pm i) \quad (6)$$

където:

t е времето за спиране, s ;

ξ – ускорение на състава, получено под действието на специфична сила равна на IN/kN ;

f_k – специфична теглителна сила, N/kN ;

ω_r – специфично съпротивление, породено от преминаването на крив участък от пътя, N/kN ;

i – наклон на пътя, %.

Като се вземат предвид условията, при които се извършва спирането, то дясната му част ще приеме вида:

$$\frac{dV}{dt} = \xi(-\omega - b) \quad (7)$$

Решаването на УДВ от вида показан във формула (7) ще се извърши по метода, ползван като основен в железопътната практика на руските железници. Основава се на предположението за мигновено нарастване на спирачната сила след определено време, необходимо за подготовка на спирачната система за действие – t_n . В този смисъл спирачният път се формира като сбор на две основни компоненти – действителен S_δ и изминат от композицията за времето t_n – подготвителен S_n .

Пътят S_δ е разстоянието, изминато от влака с максимално силно притиснати калодки към колелата и се изчислява чрез аналитичното решаване на (7):

$$S_\delta = \sum_{n=0}^{n=k} \frac{4,17(V_n^2 - V_{n+1}^2)}{b + \omega + i}, m \quad (8)$$

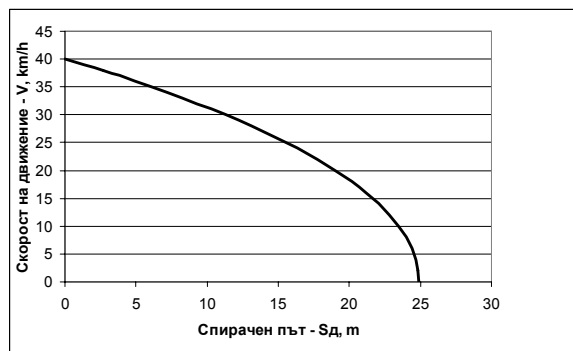
където:

S_δ е действителен спирачен път, m ;

i – наклон на пътя;

n – брой на интеграционните интервали в за зададения скоростен диапазон.

В решаваната спирачна задача са подбрани малки интеграционни интервали от 2 km/h целящи максимално повишаване на точността. На фиг. 4 е показана зависимостта $V=f(S)$, получена при решаването на УДВ. В същност тя отразява стойността на действителния спирачен път – S_δ .



Фиг. 4. Характер на спирачния процес при.

Пътят изминат от композицията през времето t_n в разглеждания случай, зависи само V_0 . Самата стойност на t_n се определя според типа на подвижния състав. За пътнически вагони се препоръчва [1, 2, 3] тя да бъде 2 s , при спиране с пневматичната спирачка. Като се вземат пред вид особеностите на мотрисите на метрото [4], а именно, че времеконстантата на пневматичната спирачна система трябва да бъде $\leq 1 \text{ s}$ и времето за запълване на спирачните цилиндри $\leq 1,5 \text{ s}$, може да се допусне, че $t_n = 1,5 \text{ s}$. При приетата начална скорост, пътят ще бъде $S_n = 16,5 \text{ m}$.

Получените изчислителни резултати съответстват на експерименталните, регистрирани в условията на софийския метрополитен. Предвид тази достоверност, посредством интерполиране на изчислителните резултати е изведена формула за определяне стойностите на V за всяка точка намираща се на разстояние S_χ от пълния

спирачен път. Изчисленията се провеждат както следва:

- при $V_0 \leq 40 \text{ km/h}$ и $S_X \leq \frac{V_0 t_n}{3,6}, m$

$$V_{S_X} \approx V_0$$

- при $V_0 \leq 40 \text{ km/h}$ и $S_X \geq \frac{V_0 t_n}{3,6}$

изчисленията се извършват съгласно (9)

$$\begin{aligned} V = & -0,499893383489047 X^6 10^{-5} + \\ & + 0,343676265325499 X^5 10^{-3} - \\ & - 0,891918934144087 X^4 10^{-2} + \quad (9) \\ & + 0,106715422382422 X^3 - \\ & - 0,58681490779054 X^2 + \\ & + 0,3366440639 07443 X + \\ & + 39,9336124155352 \end{aligned}$$

където $X = S_X - \frac{V_0 t_n}{3,6}, m; S_X, m; V_0, \text{ km/h}$ и $t_n, s.$

Точността на предложената формула (9) е $R^2 = 0,9982$. Проведеният по (9) числов експеримент показва практически пълното съвпадение на получената зависимост с тази от фиг. 4.

Чрез изчисленията, проведени по (9) могат да се изчислят средните закъснения при спиране за произволен интервал от спирачния път:

$$j_m = \frac{\left(\frac{V_0}{3,6}\right)^2}{2S}, m/s^2 \quad (10)$$

ИЗВОДИ:

- Получената зависимост (9) е относително лесна за ползване в съвременната компютърна

техника и не изисква специализирани програмни продукти;

- Формула (9) позволява определянето на скоростта на движение за произволна точка от спирачния път, без да е необходимо решаването на цялата спирачна задача. Това е от съществено значение при разполагането на споменатите стационарни съоръжения при новостроящите се участъци от метрополитена, както и определяне на необходимите им характеристики;

- Посредством изведената формула и (10) могат да се определят и стойностите на закъсненията при спиране и сравняването им с регламентираните. Всъщност като краен резултат формули (9) и (10) представляват методична основа за проектиране разполагането на типичните за участък тупик постоянни съоръжения.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Гребенюк, П., А. Долганов, А.Скварцов. Тяговые расчеты, М, Транспорт, 1987.
- [2]. Деев, В. Г. Ильин, Г. Афонин. Тяга поездов, М, Транспорт, 1987.
- [3]. Розенфельд, В. Е., И. П. Исаев, Н. Н. Сидоров. Теория электрической тяги. М, Транспорт, 1983.
- [4]. Технически данни на метровагоните.
- [5]. Тонев, С. Основи на теорията, изчисленията и експлоатацията на спирачните системи на подвижния железопътен състав. С, печатна база ВТУ, 1993.

SOLVING A BRAKING PROBLEM OF SPECIAL TYPE FOR THE CONDITIONS OF THE UNDERGROUND IN SOFIA

Kiril Velkov

Senior lecturer, Technical University of Sofia, 1000 Sofia, 8 Kl. Ohridski Boulevard, Bulgaria

Abstract: This article refers to the results and the way of calculating the dependence, characterizing movement speed "V" alteration of underground carriages as function of the braking way during stopping in the so called "emergency valve". On that basis a calculation formula for "V" in each point of the covered braking way has been deduced. This is of great importance for defining the characteristics of some stationary equipment in newly designed sections of subway.

Key words: subway, breaking distance, emergency valve.