



## **СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА СПИРАЧНИТЕ РЕЖИМИ ПРИ ВЛАКОВЕТЕ "SIEMENS INSPIRO SF" И СЪСТАВИ С МЕТРОВАГОНИ ТИП 81, ЕКСПЛУАТИРАНИ В СОФИЙСКИЯ МЕТРОПОЛИТЕН**

**Атанас Дяков, Васко Николов**

[atanasdyakov8@abv.bg](mailto:atanasdyakov8@abv.bg), [varnikolov@vtu.bg](mailto:varnikolov@vtu.bg)

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,  
София, Ул. Гео Милев №158,  
БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** *Siemens Inspiro, метровагон, метровлак, жп возило, подвижен железопътен състав, спирачки, спирачна система, електропневматична спирачка, електродинамична спирачка.*

**Резюме:** *В доклада е представен сравнителен анализ на видовете спирачки и спирачни системи, с които са оборудвани метровлаковете „Siemens Inspiro SF“ и влакови състави с метровагони от серията 81. Извършеният сравнителен анализ на спирачните режими и видовете спирачки ползвани в метровлаковете, експлоатирани по четирите линии на софийското метро е направен, като са взети предвид техните технически данни, спецификации и характеристиките им. Съобразен е и периодът на производството им, както и модифицирането им във времето, покриващо основните критерии на съвременните изисквания за лекота на возилата, по-висока мощност, повече енергийна икономия, визия, комфорт и по-голям капацитет на пътническите вагони. Разгледана, сравнена и анализирана е скоростта, до която метровлаковете спират при окончателното им установяване в пълен покой при нормални експлоатационни условия, без откази в работата на системите им, повреди и аварии. Обобщени и сравнени са и видовете спирачни режими, които задържат и осигуряват влака срещу самопридвижване по време на множеството спирания за кратковременен престой. Разгледани са темите за системите и видовете управление, следене и контрол движението на влаковете, както и задействането на аварийната спирачка в случаи на аварийни или други екстремни спирания на жп возилата.*

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Серията метровагони от типа 81-740.2 / 81-741.2 и 81-740.2Б / 81-741.2Б се явяват самостоятелни подвижни единици, отговарящи на ергономичните изисквания и критериите за безопасност, както на пътниците, така и за обслужващия ги персонал.

Метровлак „Siemens Inspiro SF“ е иновативен метровлак, отговарящ на съвременните изисквания за безопасност, комфорт, бърз превоз и визия за метровлак. Той е произвеждан от „Сименс Мобилити“ – подразделение на германския концерн „Сименс“. Първото му представяне е през 2010 г. на изложението „Иннотранс“ в гр.

Берлин, а през 2012 г. започва производството на състави за варшавското метро. В софийския метрополитен се експлоатират състави от по три броя вагона – двата челни са моторни с кабините за машинистите, намиращи се в двата края на влака, а по средата им е свързан немоторен метровагон, наречен прикачен, със спомагателно електрооборудване.

Метровлак „Русич“ е със сумарна обща двигателна мощност 1920 kW, разпределена на 12 бр. двигателни колооси, или 160 kW на ТД. В сравнение с МВ „Сименс Инспиро“ двигателната мощност на 8 бр. двигателни колооси е 1120 kW, по 140 kW на ТД. На сравняваните МВ тяговите им електродвигатели са асинхронни.

Метровагони серия 81 са проектирани за съвместна работа с устройствата за автоматично регулиране на скоростта APC (за работа с APC – АЛС системата за контролиране на скоростта на движение на влака в съответните участъци). Съставът има устройства за резервно управление, т.нар. КРУ – контролер за резервно управление.

Мощността и оборотите на ТД в теглителен режим се регулират чрез промяна начина им на свързване и регулиране на тока през тях посредством IGBT.

Както при всички транспортни средства, така и при метроваковете (МВ) наред с проблемите за задвижването им, скоростта на движение и ускоряването им, винаги е стоял проблемът за безопасното и надеждно спиране на точно определени за целта места на пероните на метростанциите, както и при различните видове непредвидени откази, аварийни ситуации и/или при повреди на влака, като при това се извършва постоянен и непрекъснат мониторинг на скоростта във всеки момент при движението на влаковете, с цел осъществяване на бърз и безопасен превоз, намаляване движението на влака при възникнала необходимост и максимално бързото му спиране при необходимост. Тези проблеми са свързани и взаимно обуславят безопасността на движението на транспортните средства, скоростта на движение на влаковете и пропускателната способност на участъците. Системите, апаратите, устройствата, приборите, софтуерът и приложенията към него, интегрирани в метроваковете, трябва да обезпечават високо ниво на безопасност при движението на подвижния състав в условията на висок интензитет на динамика при експлоатацията на МВ – тръгване, бързо ускоряване и множество спирания, надеждност при работа и екологична експлоатация при осигуряване на безопасност, бързина и висококачествен комфорт за пътниците.

### **ВИДОВЕ СПИРАЧКИ, ПОЛЗВАНИ В МВ НА СОФИЙСКОТО МЕТРО**

В литературата влакът се разглежда като материално тяло, тъй като той представлява сложно съставена многомасова система, изследването на която е трудно. При движение влакът е подложен на действието на множество сили. Някои от тях са приложени постоянно върху него, а други се появяват и изчезват в отделни моменти от движението му. За да се регулира скоростта на един влак в определен момент е необходимо, както създаването на движеща го теглителна сила, така и създаването на спирачна сила. Спирачната сила представлява изкуствено създадена външна сила, действаща противоположно на посоката на движение на влака. Тя се създава от специални за целта спирачни устройства, изграждащи в завършена цялост спирачната система. Съществуват множество различни спирачни системи, като практически могат да бъдат разделени на два основни вида:

Фрикционни спирачки, при които спирачният ефект се постига от триещите се метални тела (калодки, накладки), към повърхността на колелата на ЖП возилото или към други въртящи се повърхности на тела, закрепени здраво за колооста (спирачни

дискове). По този начин чрез триене спирачните сили погасяват кинетичната енергия на движещия се влак, като я преобразуват в топлинна енергия.

Другият вид спирачка, използвани в МВ, са електрическите. При тях спирачната сила се създава от електромагнитните съпротивителни сили на ТД (тягов двигател), които се създават при възникването на електромагнитните силови полета при работа на ТД в генераторен режим. Произведената по време на спирането електроенергия се подава:

- На регулируеми съпротивления (реостати) – реостатна спирачка;
- Обратно в контактната мрежа – рекуперативна спирачка.

Всички влакове, експлоатирани в софийското метро, са оборудвани със следните спирачни системи:

1. Електродинамична (ЕД) спирачка;
2. Електропневматична (ЕП) спирачка;
- Допълнителна механична, фрикционна пружинна спирачка, която не е основна и се ползва за паркинг спирачка.

### СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ

В нормални експлоатационни условия всички метровлакове, експлоатирани в софийското метро, регулират скоростта си на движение и спират приоритетно ползвайки ЕД спирачка при спиране. За да се извърши сравнителният анализ на спирачните режими се вземат предвид следните условия:

1. Влаковете са в нормални експлоатационни условия, без откази, аварии и повреди;
2. Всички системи за безопасност са включени и функционират нормално, без отказ;
3. Вземат се предвид всички системи, управлявани единствено и само от контролера на машиниста за оперативно управление в спирачен режим;
4. Взема се предвид забавянето на скоростта на движение, съответно спирането на возилата до пълен покой, осъществявано само от командния контролер. Не се отчита влиянието на системата за телекомуникационно управление движението на влаковете – СВТС (Communication Base Train Control), която автоматично управлява влак „Siemens Inspiro“.

Както при МВ „Русич“, така и при „Siemens Inspiro SF“ спирачният режим също се реализира с ЕДС чрез ползването на „IGBT“ транзистори, но на по-високо ниво на управление. Това управление на ТД в спирачен режим позволява на ЕДС да намали скоростта на метровлака почти до 0 km/h, и при скорост на движение под 0,3 km/h влакът да бъде задържан с пневматичната спирачка, за да се установи на мястото за спиране в точно определена зона, за да могат синхронизирано, едновременно с вратите на влака да се отворят и предпазните перонни врати на метростанцията. За поддържане на чиста повърхност на спирачните дискове, е предвидена почистваща спирачка, управлявана софтуерно при всяко първоначално влизане на возилото в тунела и при скорост над 30 km/h. Видовете спирачни режими на двата влака са представени в таблица 1.

Таблица 1

№	Параметър	Модел метровлакове	
		Siemens Inspiro SF	„Русич“
1	Конфигурация на влака	MC1-T1-MC2 <sup>1</sup>	ЧМ1-ММ1-ЧМ2 <sup>2</sup>
2	Колоосна формула за влака	Bo'Bo'+2'2'+Bo'Bo'	Bo'2'Bo'+Bo'2'Bo'+Bo'2'Bo'

<sup>1</sup> MC – моторен вагон с кабина за управление, T – междинен (прикачен) немоторен вагон

<sup>2</sup> ЧМ – член моторен двусекционен вагон, ММ – междинен моторен двусекционен вагон

3	Дължина на метровлак включително автосцепката, mm	60008	83575
4	Система на електрозахранване	1500 VDC, пантограф	750 VDC, трета релса
5	Брой на моторните вагони	2	3
6	Брой на немоторните вагони	1	няма
7	Брой двигателни оси	8	12
8	Относителен дял на двигателните колооси, %	66,7	66,7
9	Номинална тягова мощност на метровлака, kW	1120	1920
10	Електрическа мощност на метровлака, kW (приблизително)	~1400	~2300
11	Собствена маса на екипиран метровлак, t	86,4 ±4%	140
12	Места за сядане (общо за влака), бр.	110	134
13	Максимална вместимост при разчетна плътност 6 пътн./m <sup>2</sup> свободно подово пространство заедно със седалките пътници	617 бр.	853 бр.
14	Пълна маса на влака: всички седалки заети + правостоящи при плътност 6 пътн./m <sup>2</sup> (80 kg / пътн.), t	135,7	208,2
15	Максимална V, km/h, експлоатационна / проектна скорост	80 / 90	80 / 90
16	Спирачни проби на АС – Екстрено при скорости: - 30 km/h, спиращен път в m - 60 km/h, спиращен път в m	<b>42</b> <b>134</b>	<b>...</b> <b>125</b>

Друга съществена разлика е, че МВ серия 81 ползват ЕД спирачката, за да намалят скоростта си на движение до 7 km/h, след което ползват оперативна ЕП спирачка докато влак „Siemens Inspiro SF“ ползва ЕД спирачка до скорост на движение под 0,3 km/h, почти до окончателното му спиране.

Спирачните проби, с чиято помощ се удостоверява изправността на спирачните системи на метровлаковете, се извършат съгласно Нормативните документи на Метрополитен – ЕАД при СО.

## ИЗВОДИ

### Предимства и недостатъци:

1. Влаковете от серията модели на „Siemens Inspiro SF“ ползват най-оптимално и рационално ЕД спирачка от всички налични влакове в софийското метро;

2. Недостатък на спирачната система на метровлакове серия 81 е недостатъчната спирачна сила, създавана от електродинамичната спирачка, поради която ЕД спирачка спира да действа при по-висока скорост. При МВ „Siemens Inspiro SF“ спирачното забавяне, осъществявано от електродинамичната спирачка, е 1 m/s<sup>2</sup> почти до пълно спиране на метровлака в 99,9 % от случаите на използване на ЕД спирачка.

3. Недостатък при оперативното управление на ЕД спирачка от машинист при серия 81 е, че управлението от контролера е степенно, при строго фиксирани проценти от 48% - 100%, докато при МВ „Siemens Inspiro SF“ контролът на управлението на действието на ЕД спирачка, при осъществяване на спирачното усилие може да се осъществява през +/- 1 % при оперативное управление и през +/- 0,1% при автоматично управление на влака, което на практика означава плавно (безстепенно) управление на спирачното усилие;

4. При използването на ЕД спирачка при метровлакове серия 81 не се препоръчва промяна положението на командния контролер, което води до разпадане на оперативната верига на електрическото спиране, а след това е необходимо време за нейното възстановяване в продължение на около 3-4 секунди, който период от време може да застраши безопасността. При МВ „Siemens Inspiro SF“ този проблем не съществува. При него във всеки момент, посредством оперативное управление чрез главния контролер на машиниста, може да се осъществява плавно безстепенно

регулиране скоростта на движение на метровлака без значение от положението на контролера и режима на движение;

5. Недостатък на всички МВ в софийското метро е, че ЕД спирачка ползва сцеплението само на двигателните колела. Само те могат да допринесат да се преобразува механичната енергия от движението на влака в електрическа такава от ТД, работещи по време на спирането в генераторен режим;

6. Предимство на ЕД спирачка на „Siemens Inspiro SF“ за разлика от други возила, използващи такава спирачка е, че тя осъществява спирачно действие при ниски скорости на движение при спиране. Този метровлак може да достигне скорост при спиране под 0,3 km/h, осигурявайки ефективна спирачна сила без триене, съответно без износване на компоненти от фрикционните спирачни възли, като по този начин от една страна удължава техния експлоатационен ресурс, а от друга – спомага за активното опазване на околната среда без да отделя механични частици в нея, като по този начин не замърсява въздуха и природата.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разглежданите метровлакове са снабдени с няколко спирачни системи, осигуряващи необходимото ниво на безопасност и сигурност, както при движението му, така и в статично състояние на возилото. Всяка от тях действа самостоятелно и може да бъде управлявана от различни места независимо една от друга, задействани от машинист – оператор или активирани автоматично от системата за телекомуникационен контрол и управление движението на МВ. Метровлак „Siemens Inspiro SF“ представлява съвременен подвижен железопътен състав за градско придвижване. По време на експлоатация на метровлаковете, ползвани в софийското метро, условията за безопасност са подложени на непрекъснат мониторинг и контрол така, че при всяко нарушаване на някое от изискванията по безопасността на движението спирачните системи биват задействани по най-подходящия и бърз за съответната ситуация начин, независимо дали оперативно или автоматично. Това прави тези метровлакове надеждни, безопасни и екологични в експлоатация, удобни както за обслужващия персонал, така и за превозваните пътници, съобразени със съвременните изисквания за безопасност в транспорта.

### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1]. С. Василев, В. Паунов, П. Сърнов, Е. Бенчев, Влакови спирачки, ДИ „Техника“, София, 1985
- [2]. Т. Йовов, Г. Петров, Тяга и спирачни системи на влаковете, ВВТУ „Т. Каблешков“, София, 1995
- [3]. В. Николов, Тяга на влаковете, изд. ВТУ „Тодор Каблешков“, София, 2012
- [4]. Обучителен материал за машинисти - сведения за вагоните, „Основни параметри и характеристики“, „Системи за управление спирачно оборудване, видове спирачки, спирачни системи и спирачни режими на влак „Siemens Inspiro SF“
- [5]. Академия за подвижен състав. Обучение за Софийски метрополитен, Обучение за машинисти, Модул ОР2, Siemens AG 2018, София, 2019
- [6]. Метрополитен ЕАД, Пневматично оборудване и автоматични спирачки на метровагони тип 81-740.2, 81-741.2 и 81-740.2Б, 81-741.2Б в Софийския метрополитен
- [7]. Метрополитен ЕАД, Инструкция за експлоатация на спирачките на подвижния състав
- [8]. Метрополитен ЕАД, Правилник за техническата експлоатация на метрополитена

# COMPARATIVE ANALYSIS OF THE BRAKING MODES OF THE "SIEMENS INSPIRO SF" METROTRAINS AND TYPE 81 METROTRAINS OPERATED IN THE SOFIA METROPOLITEN

**Atanas Dyakov, Vasko Nikolov**  
[atanasdyakov8@abv.bg](mailto:atanasdyakov8@abv.bg), [varnikolov@vtu.bg](mailto:varnikolov@vtu.bg)

***Todor Kableshkov University of Transport,  
Sofia, 158 Geo Milev str.  
BULGARIA***

***Key words:*** Siemens Inspiro, metro coach, metro train, railway vehicle, rolling stock, brakes, braking systems, electropneumatic brake, electrodynamic brake.

***Abstract:*** The report presents a comparative analysis of the types of brakes and braking systems equipped with the "Siemens Inspiro SF" metro trains and trainsets with metro cars of the "81" series. The comparative analysis of braking modes and types of brakes used in metro trains operated on the four lines of the Sofia metropolitan was made, considering their technical data, specifications and characteristics. The period of their production, as well as their modification over time, covering the main criteria of modern requirements for lightness of vehicles, higher power, more energy saving, vision, comfort and greater capacity of passenger cars is also consistent. The speed at which metro trains stop at a final standstill under normal operating conditions, without system failures, breakdowns and accidents, has been examined, compared and analyzed. The types of braking modes that hold and secure the train against rolling during the multiple short-term stops are also summarized and compared. The topics of the systems and types of management, monitoring and control of the movement of trains, as well as the actuation of the emergency brake in cases of emergency or other extreme stops of the railway vehicles, were considered.