



## **ИЗГРАЖДАНЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ТРЕТА МЕТРОЛИНИЯ НА СОФИЙСКИЯ МЕТРОПОЛИТЕН**

**Бойко Вълков**  
[bobivalkov@abv.bg](mailto:bobivalkov@abv.bg)

**„Метрополитен“ ЕАД**  
**ул. „Княз Борис“ 121, София**  
**БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** Метрополитен, съоръжения, влакове, системи за управление.

**Резюме:** Метрополитен е най-големият инфраструктурен обект на столицата. Строителството на метрото в София се извършва на базата на проекти, разработени в съответствие със специализираните норми за проектиране в Република България и в развитите в метростроителството европейски страни. Благодарение на Столична община и европейска програма за развитие “Транспорт и транспортна инфраструктура”, за периода 2016-2021 г. „Метрополитен“ ЕАД, успя да се разшири с Линия 3, включваща нови 12 км дължина и 12 метростанции, разположени в направление югозапад-североизток на столицата и обхващащи: кв. „Хаджи Димитър“ – ЦГЧ -кв. „Хиподрума“ -кв. „Бели Брези“ -кв. „Красно село“ -кв. „Овча Купел“ до Околовръстно шосе и част на кв. „Горна Баня“.

Линия 3 на Софийското метро е снабдена с последно поколение модерни системи за управление и контрол. Благодарение на тях, безопасността на движение е по-голяма в сравнение със старите трасета. На тази метролиния се осъществява непрекъснат контрол на движението и скоростта на влаковете чрез радиовръзка между Централния Диспечерски Пункт (ЦДП) и влака. По този начин, при автоматичен режим на движение, може да се определи максимално икономичен режим за разхода на енергия на влака. В комбинация с рекулперацията, която софтуерно е заложена във всеки влак, се постига и значителна икономия на електроенергия. Понижаване разхода на електроенергия е един от основните компоненти за решение при изграждане на нови участъци на метрото. Съществуват няколко различни фактора, влияещи съществено на разхода на енергия при движение на влаковете. Те, трябва да се разглеждат по отделно, след което, да се изчисли общия разход на електроенергия. Каква е ролята на всеки един от компонентите, ще бъде разгледано в настоящия доклад.

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Своята история, метрото в София, започва в далечната 1978 г., когато на 06.03.1978 г. е извършена първата копка. В течение на много години, развитието на метрополитена в столицата ни е почти в застой. След няколко неуспешни опита за пускане в експлоатация, едва на 28.01.1998 г. се откриват първите пет метростанции.

Постепенно, в течение на времето, метрото се превръща в един от основните транспортни фактори на София. Към момента, след 25г. експлоатация и разширения, софийския метрополитен се явява основна част от градския транспорт със своите 52 км и 47 метростанции. В момента , тя заема около40-42 % от градския транспорт. Развитието му през последните години е изключително интензивно. От пускането в експлоатация на първият участък на метрото от ст. „Сливница“ до ст. „Константин Величков“ ( 5 метростанции) на 28.01.1998 г. до момента, са изградени четири метролинии. Последната (към момента) трета метролиния, започва своето строителство през 2016 г. и на 24.04.2021 г. е открит последният ( за сега) участък от нея. Следващия етап от развитието на Линия 3 на метрото включва трасето кв. „Хаджи Димитър“- ж.к. „Левски“ и е с дължина 3 км и 3 метростанции. Участъкът има готов пълен идеен проект по всички специалности и реализацията му трябва да бъде изпълнена до края на 2025 г. Следващият одобрен за разширение участък включва трасето- ул. „Шипка“- кв. „Гео Милев“- ж.к. Слатина- Зала Арена Армеец- бул. „Цариградско шосе“. Отсечката е с дължина 6 км и 6 метростанции.

### **1. Инфраструктурни съоръжения – техническа характеристика**

Основните съоръжения по трасето на Линия 3 на метрото са метростанциите, междустанционните участъци (тунелите при подземно разполагане) и метродепо „Земляне“. Параметрите на станциите са определени в съответствие с нормативните изисквания в зависимост от далекоперспективното прогнозно натоварване на линията с пътници и местните пътничкопотоци на съответните станции и техните части. Тунелите при подземно разполагане на линиите включват същинските тунели и притунелните съоръжения -помпени станции и вентилационни уредби. Освен това в метростанциите и тунелите се разполагат и В и К съоръжения, релсовите пътища, контактната мрежа и съоръженията на системите за управление, безопасност и функциониране със съответните електропреносни и комуникационни мрежи.

Към съоръженията на метрото се отнасят и всички външни В и К, топлоснабдителни, електропреносни и съобщителни връзки към градските мрежи, разположени извън метростанциите и тунелите.

Планът и профилът на линиите на метрото се проектират в съответствие с предвижданията на нормите с ограничения за наклоните (макс. и мин.). При дълбоко заложен линии е за предпочитане т. нар. „хълмист релеф“ – станциите са на изпъкналите части на релефа и от тях започва наклон, където влаковете се движат по инерция или с малка тяга. В средната част с минимален наклон се движат с минимална тяга, тъй като са набрали скорост и преди следващата станция, вместо да преминават в спиращен режим, наклонът се използва за естествено намаление на скоростта. Това спомага съществено за икономия на енергията при експлоатацията на влаковете.

Вътрешното очертане на метростанциите и участъковите тунели отговаря на строго определени изисквания за габаритите, гарантират безконфликтното движение на влаковете по линията. За безопасното движение на влаковете по линиите на метрото в София според „Правилник за техническа експлоатация“ са нормирани следните габарити:

А) Габарит на подвижния състав- напречното, перпендикулярно на оста на пътя очертане, в което се разполага един вагон.

Б) Габарит на приближаване на оборудването- линия, ограничаваща разположението на оборудването по отношение на подвижния състав. Това е очертане, извън габарита на подвижния състав, в което не се допуска навлизането на каквото и да е оборудване.

В) Габарит на приближаване на конструкциите- очертанието, в чиято

вътрешност не трябва да се разполагат никакви части от конструкциите на тунелите и метростанциите.

Архитектурното строителство на метрото, се явява също сложен и отговорен елемент от цялостният облик на метрополитена.

Основната част от тунелните участъци по Линия 3 е извършена чрез щитов метод от механизирани щитов комплекс с хидравлична забойна камера с противоналягане в забоя. Изграждането на метростанциите е извършено по класическия за метрото в София т.н. „Милански метод“ при строителство по открит способ в плътностроени части на града (изключение е само станция „Орлов мост“, чието строителство е извършено по модифициран „Нов австрийски тунелен метод“). По време на всички строителни дейности, се извършва непосредствен контрол от страна на съответните органи и европейските институции.

## **2. Експлоатационни характеристики на метротовлакове на линия 3**

През 2016 г., „Метрополитен“ ЕАД възлага на консорциума ДЗЗД СИМЕТРО, производството на 20 бр. метротовлакове от типа INSPIRO за нуждите на новата метролиния. Управлението на влаковете е базирано на системата за влаков контрол СВТС (Communication- Based Train Control) и е интегрирано в общата концепция за управление на тази метролиния. На по-късен етап (2020-2021 г.) са доставени още 10 бр. метросъстави. Доставените метросъстави от типа INSPIRO са тривагонни (МС1-Т-МС2). Два от вагоните са моторни и един е немоторен. Максималната експлоатационна скоростот 80 км/ч, се достига чрез осем асинхронни тягови двигателя. Електрозахранването е 1500 V DC (толеранс +20% ; -30%), реализирана чрез горно токоснемане от контактна мрежа посредством пантограф. Максималната изходна мощност за състава е 1,180 MW. Захранването на спомагателните нужди е решено с два преобразувателя с максимална мощност 90 KW. Моторните талиги са с индивидуално задвижване и тягови двигатели с опорно-раменно окачване. Предаването на движение от двигателя към задвижващите колооси е изпълнено чрез зъбен съединител и едностъпален тягов редуктор. Механичните компоненти на спирачната система, включват един спирачен диск, монтиран на колооста и спирачен апарат, монтиран към талигата.[1].

Основна роля при процеса на спиране на метросъстава, играе електрическата спирачка. Тя е съставена от рекуперативно и електродинамично спиране, упражнявани в зависимост от напрежението на контактната мрежа и генерираната от влака електрическа енергия. Фрикционната спирачка се активира при скорост под 0.3-0.5 км/ч.

Цялата метролиния се обслужва от подвижен състав, който домува, поддържа и ремонтира в метродепо „Земляне“, намиращо се на ул. „Житница“. Депо е разположено на магистралното трасе на линията между кв. „Овча Купел“ и кв. „Красно село“. Коловозното му развитие е пряко свързано с трасето и с възможност за излизане и прибиране на влаковете и от двете посоки. (фиг.1).

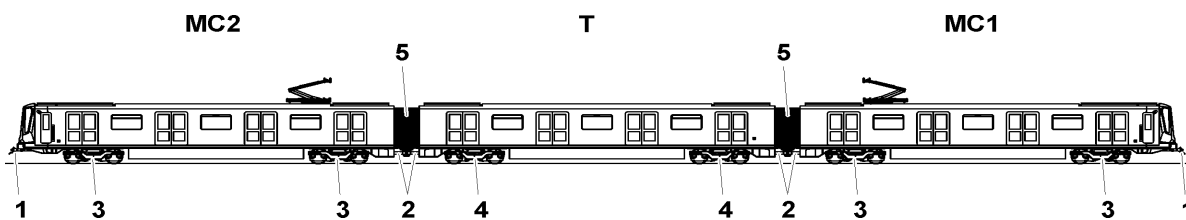
( поз.1) – автосцепка на влака;

( поз.2) – междувагонен преход, сцепка и кабели за пренос на данни;

( поз.3) – моторни талиги на вагоните;

( поз.4) – немоторни талиги на Т-вагон;

( поз.5) - междувагонен преход;



Фиг. 1. Схема на влака

### 3. Системи за управление и контрол на Линия 3

Управлението и контрола на влаковете по тази линия се осъществява чрез технология, която отразява последните тенденции в развитието на железопътната осигурителна техника. Нивото на безопасност на линията е SIL4 и ниво на автоматизация GoA3. При движение на влаковете се използва непрекъснатата комуникация между подвижния състав и центъра за управление. (фиг. 2)

Характерна особеност на Линия 3 е липсата на сигнали (светофори) по основната линия.



Фиг. 2 Нива на контрол на влака

- Режимите на работа на влака определят активираните бордни функции и вида на контрола върху работата на влака (например автоматичен, ръчен).
- Различните нужди при работа се управляват от различните режими на работа.
- Режимите на работа зависят от специфичната експлоатационна обстановка.
- Смяната на режима на работа се инициализира от бордната подсистема на базата на ситуацията от пътя чрез извикване на маршрут или изход от депо.

### 4. Работни режими и нива на АТС (таблица 1)

АТС има три основни режима на работа:

- AM ("Автоматичен режим")
- SM ("Контролиран ръчен")
- RM ("Ограничен ръчен")

Таблица 1 Режими за управление на влака

**AM**

Автоматичен режим

- Автоматично управление на влак (АТО)
- Потегляне чрез стартовия бутон на АТ
- Пълн контрол от АТР

**SM****Контролиран режим**

- Ръчно управление
- Пълнен контрол от ATP

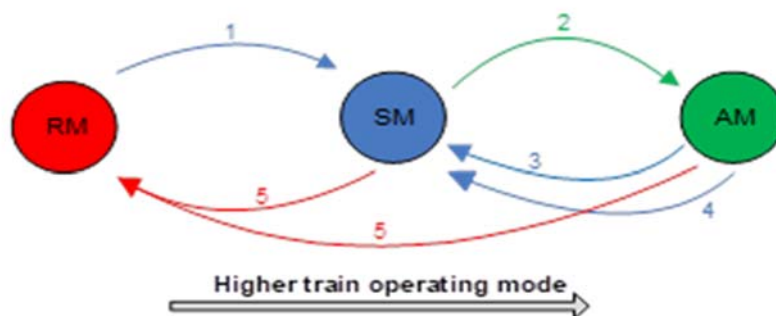
**RM****Ограничен режим**

- Ръчно управление
- Контрол на скоростта при RM
- Машинистът на влака е отговорен

Режими на движение със СВТС (система за телекомуникационно управление на влаковото движение)[2].

СВТС осигурява следните режими на движение:

- Автоматичен режим (AM)
    - Автоматично управление до достигане на линейна скорост с пълна автоматична влакова защита, с машинист в кабината, управляващ ръчно отварянето и затварянето на вратите.
    - Ако е необходимо машинистът може да отмени командите на СВТС-АТО и да превключи в контролиран ръчен режим чрез превключване на главния контролер от вертикална позиция в позиция тяга, спиране или аварийна спирачка.
  - Контролиран ръчен режим (SM)
    - Ръчно управление до достигане на линейната скорост с пълна ATP (автоматична влакова защита), с машинист в кабината, управляващ отварянето и затварянето на вратите.
    - Системата ограничава максималната работна скорост, като е възможно движение с до 80 km/h
    - СВТС-ATP следи машиниста, който управлява скоростта на влака с ръчно задаване на тягата и спирането.
  - Ограничен ръчен режим (RM)
    - Ръчно управление с ограничение на скоростта до 20 km/h, наложено от влаковото оборудване на ATP, т.е. движение в депо.
    - СВТС-ATP контролира максималната скорост на влака и задейства аварийната спирачка, ако скоростта на влака надвишава прага на ATP за този режим.
- Превключването между различните режими на управление на СВТС се осъществява от СВТС на базата на информацията от крайпътните съоръжения. (фиг.3)



Фиг. 3. Преход между отделните работни режими на влака

В зависимост от различните режими на управление на влака, се характеризират и определят и различни режими на движение и разход на енергия. Най-икономичен е режим AM (автоматичен режим), в който, системата СВТС определя движението.

При метровлаковете INSPIRO, будят интерес няколко отличителни функционалности в тяговото задвижване, спомагателно електрическо оборудване, възможността за дистанционна диагностика (NAS), както и интеграцията на бордовото и крайпътно оборудване за управление.[3]

Съществена отличителна черта на метровлаковете от тази метролиния се явява и възможността за движение без наличие на напрежение в контактната мрежа (задвижване от батерия). Тази възможност е предвидена за влизане в депо, маневриране и аварийни ситуации за изкарване на влака от тунела до перон на станция.

Режимът за задвижване от батерията, се осъществява чрез захранване 110 V DC от батерията. Чрез този режим, отпада нуждата от допълнителни съоръжения или маневрен подвижен състав, необходими за изваждане на състав от депо и подаването му към основната линия.

Системата за дистанционна диагностика (NAS) е централно мрежово устройство за съхранение на диагностични данни, което е свързано посредством Ethernet мрежа към всички компоненти за електронен контрол на влака. Тези данни, се съхраняват в централната диагностична памет. По този начин, данните за обслужване и поддръжка са:

- много бързодостъпни;
- има възможност за обща визуализация на диагностичните данни на всички компоненти;
- има само един източник за сваляне на диагностични данни;
- съществува висока надежност чрез резервираната диагностична памет;
- има единен формат на данни и диагностичен инструмент за всички компоненти;

Експериментално изследване на енергийната ефективност на метровлаковете на столичния метрополитен в реални експлоатационни условия, показва следните резултати от извършените изпитания:

**Таблица 2: Данни от енергийните измервания и реализираните показатели от метровлакове Siemens Inspiro SF при движение в реални експлоатационни условия [4]**

Верига	Вид на енергията и енергийните показатели	Мярка	Вагони МС1	Вагони Т1	Вагони МС2	Общо
Тягови инвертори	Консумирана енергия за тяга, $E_{Trac}$	kWh	261671	-	259808	521479
	Върната в тяговата мрежа енергия, $E_{RB}$	kWh	112020	-	110381	222401
	Енергия в спирачните резистори, $E_{BR}$	kWh	27701	-	29511	57212
	Отн. дял на ЕД спирачна енергия	%	53,40	-	53,84	53,62
	Нетно консумирана енергия за ускорение и тяга на влаковете	kWh	149651	-	149427	299078
Спомагателни инвертори	Енергия, отдадена за захранване на променливотоковите потребители	kWh	-	174696	-	
	Енергия, за захранване потребителите на постоянен ток и заряд на АБ	kWh	-	65353	-	
	Общо консумирана енергия за СН и от спомагателни системи, $E_{Aux}$	kWh	-	240049	-	240049
Общ разход на енергия, $(E_{Trac} - E_{RB} + E_{Aux})$		kWh	539127			
Относителен дял на върната в тяговата мрежа енергия в общия разход на енергия, $E_{RB}\%$		%	29,20			
Общ пробег на изследваните метровлакове		km	171248			
Средна брутна маса на метровлака		t	95			
Общ специфичен разход на енергия на влака, $e_{veh}$		Wh/t.km	33,31			
Общ относителен разход на енергия на влака, $e_{veh}^*$		kWh/km	3,15			

**Таблица 3: Данни от енергийните измервания и реализираните показатели от празни метровлакове Siemens Inspiro SF по време на пътни тестове с изпълнение на график за движение**

Експлоатационни параметри и енергийни показатели	Мярка	Стойност
Общ разход на енергия, $(E_{Trac} - E_{RB} + E_{Aux})$	kWh	8256
Относителен дял на върната в тяговата мрежа енергия в общия разход на енергия, $E_{RB}\%$	%	18,62
Общ пробег на изследваните метровлакове	km	1545
Средна брутна маса на празен метровлак	t	87
Общ специфичен разход на енергия на влака, $e_{Veh}$	Wh/t.km	61,42
Общ относителен разход на енергия на влака, $e_{Veh}^*$	kWh/km	5,344

Относителен дял на върнатата в тяговата мрежа енергия при рекуперативно спиране –  $E_{RB}\%$ , % и относителен дял на общо генерираната енергия, при електродинамично /ED/ спиране –  $ED\%$ , %

$$(1) \quad E_{RB}\% = \frac{E_{RB}}{(E_{Trac} + E_{Aux})} \cdot 100 \quad ;$$

$$(2) \quad ED\% = \frac{E_{RB} + E_{BR}}{E_{Trac}} \cdot 100 \quad ;$$

където:

$E_{Aux}$  е консумираната електроенергия от спомагателните инвертори през периода, за който са проведени измерванията на електроенергиите, kWh;

$E_{BR}$  – отделена в спирачните резистори електроенергия през периода, за който са проведени измерванията на електроенергиите, kWh.

Общ специфичен разход на енергия на влака –  $e_{Veh}$ , Wh/t.km.

$$(3) \quad e_{Veh} = \frac{(E_{Trac} - E_{RB}) + E_{Aux}}{m_{br} \cdot s} \quad ;$$

Общ относителен разход на енергия на влака –  $e_{Veh}^*$ , kWh/km.

$$(4) \quad e_{Veh}^* = \frac{(E_{Trac} - E_{RB}) + E_{Aux}}{s} \quad ; \quad [5]$$

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

**Внедряването на съвременни технологии за управление и контрол, съществено допринасят за по- голямата сигурност и по- ефикасната работа. Чрез новите системи се осигурява и оптимизация на разхода на енергия и по- икономичен режим на движение на метросъставите.**

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Академия за подвижен състав. Обучение за Софийски метрополитен, Основни понятия, електрически и механични компоненти, Модул PM1, Siemens AG 2018, София, 2019 г.
- [2] Академия за подвижен състав. Обучение за Софийски метрополитен, Обучение за машинисти, Модул OP2, Siemens AG 2018, София, 2019 г.
- [3] „Иновативни архитектурни, конструктивни и технически решения при строителството на метрополитени.“ „Научно- техническа конференция с международно участие, посветена на 25- годишнината на Софийското метро. София -УАСГ 26-

27.01.2023 г.

- [4] Петров И., Г. Димитров, Т. Лалев, Експериментално изследване на енергийната ефективност на метроваковете на столичния метрополитен в реални експлоатационни условия, ТУ - София, Електротехнически факултет, VIII Научна конференция „ЕФ 2016”, 12-15 септември 2016, к.к. „Св. св. Константин и Елена“, Варна, България, Годишник на Технически университет - София, том 67, книга 1, 2017 г., ISSN 1311-0829
- [5] Димитров Г. Изследване параметрите на енергийно потребление на метроваковете модел Siemens Inspiro SF по време на пътни тестове, Научно списание „Механика, транспорт, комуникации”, том 18, бр. 3/2, стр. X-52, 2020 г., ISSN 1312-3823 (print), ISSN 2367-6620 (online), статия № 2033, <https://mtc-aj.com/library/2033.pdf>

## CONSTRUCTION AND OPERATION OF THE METRO LINE 3 OF THE SOFIA METROPOLITAN

**Boyko Valkov**  
[bobivalkov@abv.bg](mailto:bobivalkov@abv.bg)

*Metropolitan*  
**Knyaz Boris Str. 121, Sofia**  
**BULGARIA**

**Key words:** *Metropolitan, infrastructure, train end systems.*

**Abstract:** *Metropolitan's network is the largest infrastructure object of the capital. The construction of the metro in Sofia is carried out on the basis of project documents developed in accordance with the specialized norms for design in the Republic of Bulgaria and in European countries developed in metro construction. Thanks to the Metropolitan Municipality and the European Program for Development Transport and Transport Infrastructure," during the period 2016-2021, Metropolitan EAD managed to expand its network with a new 12 km length and 12 metro stations, located in the southwest-northeast direction of the capital and covering: sq. Hadji Dimitar"- CGCH - sq. Hippodrome"- sq. Beli Brezi"- sq. Krasno selo"- sq. Ovcha Kupel"next to the ring road in the lower part of Gorna Banya"quarter. Gorna Banya metro station is also connected to a halt on the Sofia-Pernik railway line. The next stage of the development of Line 3 of the metro includes the route Hadji Dimitar"district - Levski" district. It has a length of 3 km and 3 metro stations. The section has a preliminary design ready for all specialties and its implementation should be completed by the end of 2025. The next section approved for expansion includes the route - Shipka "street - Geo Milev" quarter - residential district, Slatina - Arena „Armeets“ Hall - Tsarigradsko Shose Blvd. The section is 6 km long and it has 6 metro stations.*