



ИЗРАБОТВАНЕ НА МЕТОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ПЪТНИТЕ УЧАСТЪЦИТЕ ОТ ТРЕТИ МЕТРОДИАМЕТЪР НА „МЕТРОПОЛИТЕН” ЕАД

Димитър Конов, Любомир Секулов
konoff@mail.bg, res_start@abv.bg

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

***Ключови думи:** Енергийна ефективност, специфичен разход на енергия на електрически превозни средства, относителен разход на енергия на електрически превозни средства, електрически превозни средства, метрополитен*

***Резюме:** Изследването на енергийната ефективност на отделни пътни участъци се отнася до загубите на електроенергия, които са част от експлоатационните разходи. Проектирането на отделни пътни участъци от Метрополитен и впоследствие тяхното експлоатиране при различни условия налага познаването на основните специфичности, закономерности и особености както на самия пътен участък така и на неговото захранване и експлоатиране от подвижния състав. Наличието на много променливи и постоянни параметри, каквито са теглото, скоростта на движение, ускорението, инерционното движение и спирането, както и дължините на участъците и начинът на тяхното електрозахранване, профилът на пътя и кривите, определят необходимостта от изработване на метод за определяне на енергийната ефективност на пътните участъци.*

Предмет на настоящия доклад е изработване на метод, който би било полезен, както при настоящето експлоатиране така и при бъдещи решения за удължаване на трасетата на Метрополитена в София. Също така този метод би могъл да се използва и при други железопътни участъци от наземния електрически транспорт.

УВОД

Основният начин за повишаване на енергийната ефективност и намаляване на специфичния ѝ разход от ЕПС е рекуперация на електро енергия. В тази връзка се цели повишаване на връщаната в контактната мрежа енергията от рекуперативно спиране и нейното максимално усвояване от подвижния състав.

Добре известно е, че рекуперативното спиране осигурява безопасността на влаковете и в същото време повишава енергийната ефективност на електрическата тяга. Поради това железопътната мрежа ежегодно си поставя задачата да увеличи количеството на регенерираната енергия. Доскоро обаче не беше поставяна цел за оценка на енергийната ефективност на рекуперацията. Концепцията за енергийната ефективност на рекуперацията може да бъде разделена на две основни области:

➤ Енергийна ефективност на прилагането на рекуперативното спиране. Показателят за ефективност в този случай е количеството електрическа енергия, рекуперирано от електрическия подвижен състав (ЕПС) (специфична стойност и процент от потреблението на тяга);

➤ Енергийна ефективност на оползотворяването на рекуперативната енергия. Показателят за ефективност в този случай е намаляването на специфичното потребление на енергия според броя на тяговите подстанции поради използването на рекуперация (специфична стойност и процент от потреблението за тяга).

ФАКТОРИ, ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ЕФЕКТИВНОСТТА НА РЕКУПЕРАТИВНОТО СПИРАНЕ И ОПОЛЗОТВОРЯВАНЕТО НА РЕКУПЕРАТИВНАТА ЕНЕРГИЯ

Оценката на ефективността на рекуперацията в произволен железопътен участък следва да се извърши в две основни направления:

1. Оценка на ефективността на действителното прилагане на рекуперативното спиране, която следва да се извърши, като се вземат предвид основните фактори и действителните условия за прилагане на рекуперативното спиране в участъка.

2. Оценка на ефективността на оползотворяване на рекуперативната енергия с разпределение на нейните обеми по компоненти, което може да включва

а) потребление на рекуперативна енергия за собствени нужди на електрическия подвижен състав;

б) загубите на рекуперативна енергия в контактната мрежа по време на предаването на рекуперативна енергия от рекуперативния ЕПС към ЕПС в тягов режим и към тяговите подстанции;

в) потреблението на рекуперативна енергия за теглене на метро влаковете на електрическата тягова единица в тягов режим;

г) загуби на рекуперативна енергия в токоизправително-инверторните преобразуватели и тяговите трансформатори на тяговите подстанции за постоянен ток, когато рекуперативната енергия се връща от контактната мрежа;

д) потреблението на рекуперативна енергия за собствени нужди на тяговите подстанции, за нуждите на железницата и на трети потребители, за надлъжни електропроводи, захранвани от шините на тяговите подстанции;

е) загуби на рекуперативна енергия в понижаващите трансформатори на тяговите подстанции за постоянен и променлив ток по време на предаването на рекуперативна енергия през тях към външната електроснабдителна система;

ж) връщане на рекуперативна енергия към външната електроснабдителна система.

В първото направление задачата е да се определи нивото на ефективност на прилагането на рекуперативно спиране от машинистите.

Във второто направление задачата е да се оцени ефективността на използване на рекуперативната енергия, водеща до намаляване на специфичното потребление за теглене на метро влаковете, според измервателните системи на тяговите подстанции.

Надеждността на резултатите, получени по време на оценката, и точността на направените заключения зависят от правилния избор на метода за оценка. В същото време основното при избора на метод на изследване е броят на факторите, влияещи върху обекта на изследване, които методът отчита. Основните фактори, влияещи върху ефективността на рекуперативното спиране, са представени в таблица 1[1].

Трети метродиаметър(ЗМД) в София се различава по своето електрозахранване на ЕПС, спрямо първи и втори метродиаметър и изграждащите го елементи.

Таблица 1 - Фактори, влияещи върху ефективността на рекуперативното спиране и оползотворяването на рекуперативната енергия

Фактори	Фактори оказващи влияние	
	Върху ефективност на рекуперативното спиране	Ефективното използване на енергията от рекуперация
Тягови системи за захранване	Вид ток	Вид ток
	Памарети и ирежими на работа на тяговите и външни системи и външното захранване	Памарети и ирежими на работа на тяговите и външни системи и външното за захранване
	Наличие и мощност на потребители захранвани от тяговите подстанции	Наличие и мощност на потребители захранвани от тяговите подстанции
График за движение на влаковете	Брой пътнически влакове в участъка	Брой пътнически влакове в участъка
	Показатели на графика на движение на влаковете	Показатели на графика на движение на влаковете
	Маса на състава	—
	Натоварване на ос	—
	Техническа скорост в участъка	—
Подвижен състав	Видове ЕПС(техническите им параметри за рекуперация)	—
	Брой ЕПС с изправни системи за рекуперация	—
Други	Профил на пътя, криви на радиуси	—
	Метрологични условия	—

ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЗМД

Захранването на трасето се осъществява от от 7 тяговите понизителни станции (ТПС) със средно напрежение 10 kV AC от две независими градски подстанции, от които до ТПС достигат два захранващи въвода (основни). Във всяка ТПС има допълнително и два междинни въвода, които осигуряват връзка между две съседни ТПС. Тяхната задача е да осигурят захранване на ТПС при отпадане на напрежението по основните въводи от градската подстанция. Максимално разстояние между 2бр. ТПС е 2551,75 m, а минималното 583,31m.

Дължината на трасето е 12885m с 12 метростанции. Максимално разстояние между 2бр. Метростанции е 1361,35m, а минималното 583,31m. Максимален наклон от 40% . Минимален радиус на кривите 2000m.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕТО НА ЕПС НА ЗМД

Актуалност на проблема понастоящем е основният начин за предаване на електрическа енергия към и между електрическия подвижен състав на ЗМД.

Осигуряването на качествени електрозахранване при различни режими на движение е свързано с решаването на редица проблеми. Един от тях е контролът на експлоатационното състояние на елементите от електрозахранването и режимът на движение метро мотрисите.

Вследствие на това са необходими подробни теоретични и експериментални изследвания на различните режими на движение в различните участъци.

Изследване на механизмите и причините за разрушаване на елементите на контактната мрежа и контантна мрежа, търсене на фактори и условия, които намаляват броя на електроерозионни явления, разработване на комплексна система от мерки и дейности по диагностика на тоководещи устройства в експлоатационни условия на базата на безразрушителни методи за контрол. Въпреки това не е целесъобразно да се ограничаваме само с разработването на методи за безразрушителен контрол.

ЕЛЕМЕНТИ ОТ ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕТО И НА ЗМД

Захранването на подвижните състави с електроенергия в коловозното развитие на депото ще става посредством въздушна контактна мрежа. Контактната мрежа е проводник на плюсовия потенциал в метросистемата и получава захранване от плюсовата шина на токоизправителите.

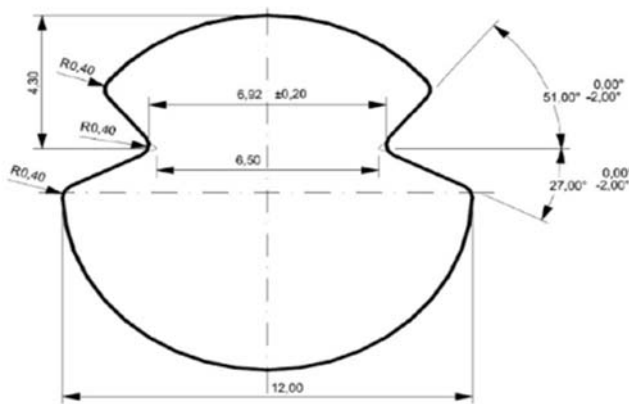
Минусовия потенциал се подава към ходовата релса чрез кабелна връзка с минусовата шина на токоизправителите. През търкалящите се колооси на вагоните минусовия потенциал се подава на двигателите.

Въздушната контактна мрежа обхваща:

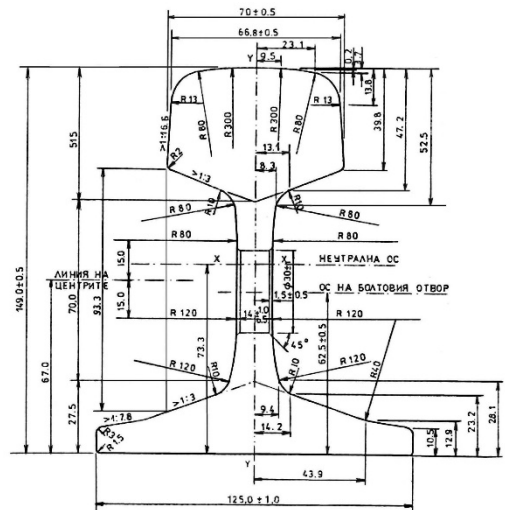
- опорни конструкции и всички компоненти, които се използват за опора, странично водене или изолиране на проводниците.
- всички въздушни контактни проводими елементи на мрежата, обратен фидер, заземителен проводник, фидери.
- Опорни устройства – всички видове конструкции, монтирани към носещи конструкции или стълбове и предназначени за носене или фиксиране на твърда или верижна контактна релса и проводници на контактната система.

Основни електрически параметри на контактната мрежа са следните:

Номинално захранващо напрежение 1500 V постоянен ток, с ниво двойна изолация, максимална проектна скорост на влака 80 км/ч, сечение на контактния проводник - 150 мм², максимално специфично съпротивление 1,777 10⁻⁸Ω/m; максимално съпротивление - 1,122 x 10⁻⁸Ω/km [2].



Фиг. 1. Профил на контактен проводник в ЗМД



Фиг. 1. Профил на релса в ЗМД

Основни електрически параметри на релсата тип 49 E1

Номинално захранващо напрежение 1500 V постоянен ток, максимална проектна скорост на влака 80 км/ч, релсова стомана с линейна маса 49.4 kg/m и сечение 6300 mm², Електрическото съпротивление 0,0318 Ω/km [2].

Основни електрически параметри на фидерите

Контактната мрежа е разделена на фидерни секции, за да се осигури селективност, възможност за разединяване, спазването на необходимите електрически параметри и безопасно тягово електрозахранване. Номинално напрежение 1500 V DC, допустим толеранс на номиналното напрежение +20% – 30%, Максимално допустимо напрежение 1.8 /kV/, импулсно напрежение 1.8 /kV/ Линейното съпротивление 0,0182 Ω/km [2].

Основни електрически параметри на ТПС Тяговите трансформатори (трифазни) понижават напрежението от 10 kV AC на 1200 V AC, а след токоизправителите напрежението се преобразува в постоянно 1500 V DC [2].

Основни параметри на метроваковете

Захранващо напрежение 1500 VDC. Мощност на тяговите двигатели 8x120kW. Максимална експлоатационна скорост 80 km/h, маса на влака 86,4t без пътници, максимална проектна скорост 90 km/h, максимално ускорение (0–25 km/h) 1.0 m/s², максимално забавяне при служебно спиране (ED+EP) от 0 до 25 km/h 1.2 m/s² [2].

МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА РЕКУПЕРАЦИЯТА ЗА УЧАСТЪЦИ ОТ МЗД

Ще се използва методът на "локалния" експеримент, при който ще се отчита електроенергията в конкретен участък чрез измервателните уреди в тяговите подстанции и за същия участък се отчетат показанията на един или няколко метро влака оборудвани със специални системи за отчитане на потреблението на електроенергия (в ССУ модула на влака може да се отчете върната и изразходена енергия за 24h) като в участъка се организира специален график на метро влаковете. Такъв експеримент, от една страна, дава възможност да се изследва структурата на използване на рекупериранията енергия при по-ниски разходи, а от друга страна, да се получи прецизна оценка на ефективността на използване на рекупериранията енергия при различни разписания на влаковете и параметри на системата за захранване на тяговата мрежа [1].

Ще се използва следната формула за енергията при рекуперация:

$$(1) \quad A'_{\text{рек}} = 1,073P(V_n^{2-} - V_k^2)(1 + v)10^{-5} \left(1 - \frac{\omega_0 - i_{\text{cp}}}{(102-1+v)a}\right) \eta, \text{ kWh}$$

Където:

- V_n и V_k начална и крайна скорост на спирането, $-(1+v)$ - коефициент на инерция, $-P$, масата на ЕТС t ; α забавяне на ЕТС m/s², $-\eta$ - КПД на ЕТС при рекуперация около 0,85. Забавянето се изчислява по формулата $a = \frac{\xi}{1+v} (i_{\text{cp}} - \omega_0 - b)$

Където- $\xi = 0,00981$ - е преводен коефициент, b специфично значение на силата при рекуперативното спиране отнесено, i_{cp} наклон на трасето, %.

Ще се използват и методи, основани на симулационно моделиране.

Симулационно моделиране на транспортния процес, което дава възможност да се оцени ефективността на използването на рекуперативна енергия в даден железопътен участък, като се вземат предвид повечето от влияещите фактори.

Създаване на регресионен модел на използването на регенерираща енергия въз основа на резултатите от симулационното моделиране, като се вземат предвид най-значимите фактори.

Оптималният инструмент за оценка на ефективността на рекуперацията е симулационното моделиране на транспортния процес. Предимствата на този подход включват простота и ниска цена, прозрачност и многовариантност на изчисленията, адекватност на получените резултати.

Ще се използва сравнителен метод, като се сравнят експерименталните и симулационни резултати на специфичното потребление на енергия за тягата според измервателните уреди на тяговите подстанции в участъците, същите в самите метровакове и направения симулационен модел.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Електрическите характеристики на елементите от електроснабдяването на ЗМД не дават реална оценка за енергийната ефективност поради значителната им зависимост от механичните характеристики и динамичните електрически товари в системата на електроснабдяването.

Използването на описаната методологията в доклада ще даде по точна представа за ефективността от рекуперативното спиране, базирани на основните фактори: броя метро влакове спиращи и потеглящи в участъка захранван от съответната ТПС, режимът на движение според профила на пътя и междуспирковото разстояние. Друг важен фактор за ефективното усвояване на рекупериранията енергия е броя на спиращи и потеглящи ЕПС в участъка. Разработването на методология за изследване на енергийната ефективност на участъците ще спомогне за определяне енергийна ефективност и намаляване на загубите от електроенергия ЗМД.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петров И., Г. Димитров, Т. Лалев, Експериментално изследване на енергийната ефективност на метротревовете на столичния метрополитен в реални експлоатационни условия, Годишник на Технически университет - София, том 67, книга 1, 2017 г. (ISSN 1311-0829)
- [2] Столичен Метрополитен ЕАД ;
- [3] В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм, Методология оценки энергетической эффективности применения рекуперативного торможения и использования энергии рекуперации УДК 621.331.629.4

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR THE DETERMINATION OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE ROAD SECTIONS OF THE THIRD METRO LINE OF METROPOLITAN EAD

Dimitar Konov, Lyubomir Sekulov

konoff@mail.bg, res_start@abv.bg

Todor Kableshkov University of Transport

Sofia, 158 Geo Milev Str.,

THE REPUBLIC OF BULGARIA

Key words: *Energy efficiency, specific energy consumption of electric vehicles, relative energy consumption of electric vehicles, electric vehicles, metro*

Abstract: *The study of the energy efficiency of individual road sections refers to the electricity losses that are part of the operating costs. The design of individual road sections of the Metropolitan and their subsequent operation under different conditions requires knowledge of the basic specifics, patterns and features of both the road section itself and its power supply and operation by rolling stock. The presence of many variable and constant parameters, such as weight, speed, acceleration, inertial motion and braking, as well as the lengths of the sections and the way they are powered, the road profile and curves, determine the need to develop a method for determining the energy efficiency of road sections.*

The subject of this report is the development of a method that would be useful in both current operation and future decisions on the extension of the Sofia Metropolitan routes. Also this method could be used for other railway sections of surface electric transport.