

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА СТИМУЛИРАНЕ НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИТЕ ПРЕВОЗВАЧИ В РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ ЧРЕЗ ОЦЕНКА НА РЕКУПЕРИРАНАТА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ ОТ ТРАНСПОРТНИТЕ СРЕДСТВА

Илко Търпов, Тодор Лалев
stsb_plovdiv@abv.bg, lalev85@gmail.com

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
1574 София, ул. „Гео Милев“ № 158
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** климат, железопътен транспорт, стимулиране, железопътни превозвачи*

***Резюме:** Република България активно се включи в международните усилия за предотвратяване изменението на климата, като прие съгласуваните цели на Европейския съюз и широкомащабния пакет от мерки в областта на енергетиката. Създадени са подходящи стимули и мерки за насърчаване на потреблението на електроенергия, произведена от възобновяеми енергийни източници. Разработени са различни мерки за насърчаване на използването на екологични транспортни средства (електромобили, електробуси, автобуси на пропан-бутан и др).*

В настоящият момент като чели в областта на железопътния транспорт липсва обща визия между оператора на железопътната инфраструктура и железопътните превозвачи за предотвратяване изменението на климата и повишаване на енергийната ефективност на системата. Дори липсва ограничения за използване на двигатели с вътрешно горене с нисък клас на екологичен стандарт.

Всичко това поставя въпроса могат ли да се търсят стимули и приемане на общи действия за въвеждане на минимални стандарти по отношение на енергийно ефективни и екологосъобразни транспортни услуги в българското законодателство.

В настоящия доклад е разгледана възможността за стимулиране на железопътните превозвачи чрез обективна оценка на електрическата енергия получена при рекуперативно спиране.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Движението на хора и стоки е основен елемент от вътрешния пазар на страната и има решаващо значение за нормалния живот на хората. Насърчаването на ефективни и устойчиви начини на транспорт, като железопътния, за сметка на автомобилния, би могло да помогне за намаляване на зависимостта на Европа от вноса на петрол и да намали замърсяването.

Според Европейската агенция за околната среда, емисиите на CO₂ от железопътния транспорт са 3,5 пъти по-ниски на тон-километър в сравнение с тези от автомобилния транспорт. [1] В тази връзка през от 2001 година ЕС стартира

приемането на пакети от мерки, които да либерализират железопътния транспорт. Една от основните цели е да се създаде реална конкуренция и да се пренасочат товари от автомобил към железопътния транспорт.

Либерализирането на железопътния пазар в Република България започва през далечната 2002 година, когато в съответствие със Закона за железопътния транспорт /ЗЖТ/ е прекратена Национална компания "БДЖ" без ликвидация и съответно е разделена на две самостоятелно дружества. Към днешния момент, 17 години след стартиране на процеса, лицензии за извършване на товарни железопътни превози притежават 14 компании а либерализирането на пътническите превози още не е започнало.

От казаното до тук се вижда, че при така поставените законодателни и икономически рамки, железопътните превози не са атрактивни, спрямо автомобилният транспорт. Липсват предпоставки за обновяване и модернизирание на тяговият подвижен състав. Особено показателен е примера, че за последните 30 години от частни превозвачи са закупени само 4 нови съвременни локомотива.

Затова и основната цел на настоящата разработка е да се предложат различни начини за стимулиране на железопътните превозвачи чрез обективна оценка на електрическата енергия получена при рекуперативно спиране.

2. СЪЩИНСКА ЧАСТ

2.1. Възможности за стимулиране на железопътните превозвачи в Република България

Като мярка за преодоляване на така създадената негативна среда може да се посочи необходимостта от спешна промяна на националното законодателство и създаване на преференции за железопътния транспорт спрямо автомобилния.

Известно е, че подвижните състави се таксуват за всеки използван километър от железопътната инфраструктура. Това невинаги е така при автомобилния превоз. Също така външните въздействия, причинени от железопътния и автомобилния превоз (въздействия върху околната среда и замърсяване, задръствания, злополуки и т.н.), не се вземат всеобхватно предвид при определянето на цената, която потребителите трябва да заплатят за достъп до инфраструктурата [1].

За да бъде стимулирани превозвачите да обновяват локомотивния парк е възможно да се мисли в следните посоки:

- Таксите за достъп до инфраструктурата да се диференцират в зависимост от енергетичните характеристики на транспортното средство. Например за електрическите подвижни състави може да се разработи методика, която да оценява енергетичните показатели на подвижния състав, както и дали има възможност за рекуперативно спиране;

- Въвеждане на цена на произведената от подвижните състави рекуперирана електрическа енергия. Например може да приемем, че регенерираната енергия от подвижните състави служи и за покриване на технологичните загуби в съоръженията на НКЖИ, т.е. цената на kWh за технологични загуби може да служи като основа за определяне на тази изкупна цена;

- Екологичният отпечатък, който оставя транспортното средство при осъществяване на своята дейност.

2.2 Оценка на рекупериранията от транспортни средства електрическа енергия

За целите на настоящия доклад е проведено експериментално изследване на електрическите параметри при рекуперативно спиране на електрически мотрисен влак /ЕМВ/ в реални експлоатационни условия.

Измерванията са извършени с измервателен прибор (анализатор) на качеството на електроенергията тип UMG 604, производство на фирма „JANITZA Elektrik“. При извършване на измерванията анализатора беше присъединен на токовия и напреженивия измервателни трансформатори в ЕМВ.

Получената информация е обработена със софтуер JANITZA Gridvis. В настоящия доклад са представени само резултатите получени в режим на рекуперативно спиране.

2.2.1 Енергия и мощност при рекуперативно спиране

Спирания режим на ЕМВ се задейства от водача (машиниста) посредством лоста за управление - "движение-спиране". Спирането се осъществява преимуществено чрез електрическата спирачка с цел да се върне в мрежата регенерирана енергия и да се сведе до минимум нивото на шума и износването на накладките в процеса на спиране.

След отчитане на размера на рекуперативната енергия можем да определим нейното влияние върху общия разход чрез формула 1.

$$(1) \quad E_{об} = E_{дв} + E_{сн} - E_{рк},$$

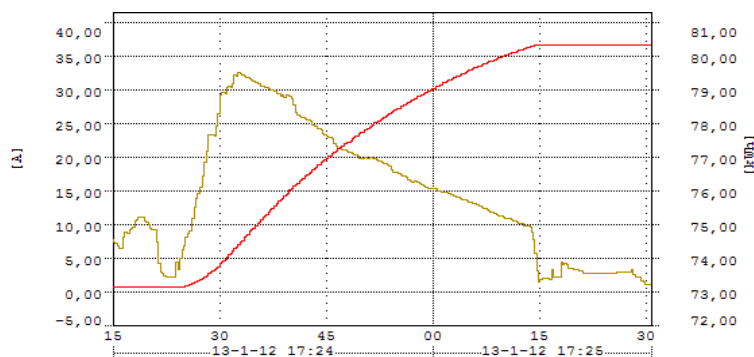
Където $E_{об}$ е общ разход на енергия;

$E_{дв}$ - разход за движение;

$E_{сн}$ - разход за собствени нужди;

$E_{рк}$ - енергия от рекуперация.

На фиг. 1 е показана диаграма на реализирано рекуперативно спиране. Вижда се, че спирането започва при скорост на движение на ЕМВ от 100 km/h, като за периода тока на ЕМВ при рекуперация достига максимална стойност $I_{max} = 33$ A, а стойността на върнатата енергия в мрежата е $E_{рк} = 7$ kWh. Спирането е реализирано за период от 50 s.



Фиг. 1. Ток на рекуперация и върната енергия

За нуждите на анализа в държавния железопътен превозвач се проведе измерване на доставената енергия за ЕМВ “Дезиро” за период от една година и върнатата такава от състава. Данните са отчетени от електромери LEM монтирани във всяко едно ЕМВ. Резултатите от проведеното изследване са представени в Таблица 1.

Таблица 1. Консумирана и върната енергия от ЕМВ “Дезиро”

ЕМВ	$E_{об}$, kWh	$E_{рк}$, kWh	L , km	$K_{рк}$	M , t
30	9827510	1922921	1688741	0,1956	133
31	9540453	2044247	1407681	0,2142	155

След обработка на данните от таблица 1 се вижда, че специфичният разход на електроенергия, с отчитане на рекупериранията от ЕМВ електроенергия, е

приблизително един и същ 35,6 Wh/tkm и за двата типа вагони. Без да отчитаме енергията получена от рекуперативната спирачка тези състави биха имали специфичен разход на енергия от порядъка на 44,615 Wh/tkm, което представлява над 20,2 % разлика.

2.2.2 Изследване на хармоничните съставящи на тока и напрежението на регенерираната енергия

Хармониците се разпространяват по контактната мрежа / КМ /, като предизвикват допълнително загуби на електроенергия и по този начин влошават работата на други устройства. Хармониците на напрежението се предизвикват от хармониците на токовете през съпротивленията на захранващите вериги и се разпространяват по захранващата мрежа. Причинените падове на напрежение в КМ се наслагват върху синусоидата на захранващото напрежение и го деформират. Изкривяването на формата на напрежението U_h на даден хармоник е пропорционално на съпротивлението Z_h и ток I_h за същият хармоник в КМ видно от (2).

$$(2) U_h = Z_h \cdot I_h$$

За целите на доклада трябва да се разгледа влиянието на ЕТС върху КМ при реализиране на регенеративно спиране. Целта е да се анализира качеството на получената при рекуперация електрическа енергия като данните могат да се използват при въвеждане на стимули за превозвачите експлоатиращи подобни състави от страна на железопътната инфраструктура.

Оценката за хармоничните изкривявания на формата на токовете и напреженията на отдадената енергия ще направим, като използваме показателите:

- коефициент на мощност K_m (PF);
- мощност на линейните изкривявания;
- стойност на общите хармонични изкривявания.

Коефициента на мощност или power factor PF се изразява с (3).[2]

$$(3) K_m = \frac{P}{S} = \nu \cos \varphi_1$$

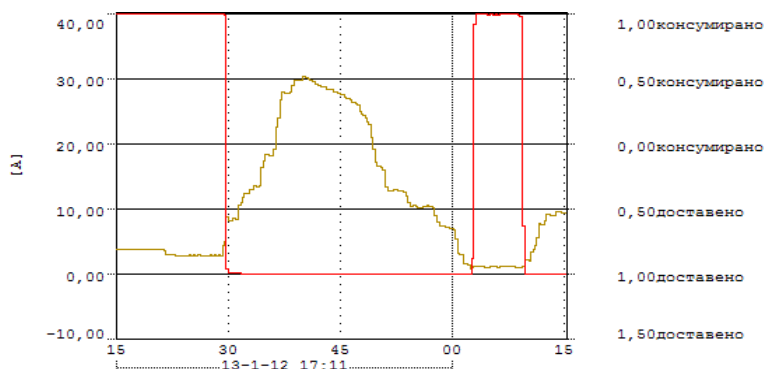
Където P е активна мощност;

S – пълна мощност;

ν - коефициента на деформация на вълната;

φ_1 - ъгъл между вектора на тока и вектора на напрежението.

На фиг. 2 може да се проследи големината на рекуперативния ток и стойността на $\cos \varphi_1$. Отчетените стойности са за 1 s и може лесно да се установи, как със стартиране на



Фиг. 2. Ток на рекуперация и $\cos \varphi_1$

процеса спиране тока на рекуперация започва плавно да нараства до 30 А, при достигане на зададения процент тяга и плавно да намалява до преустановяване на режима спиране. Стойността на $\cos\varphi_I$ от 1 при консумиране на енергия преминава мигновено в стойност 1 при доставяне на енергия.

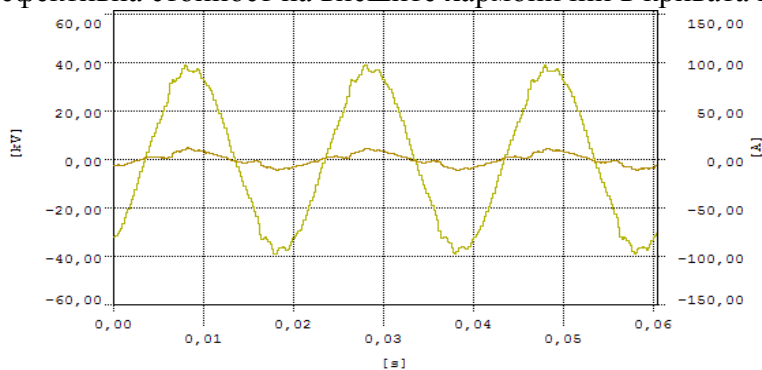
Въпросната несинусоидалност се отчита от коефициента на деформация на вълната ν . При ток без хармоници ν е равно на 1. [3]

$$(4) \nu = \frac{I_1}{I} = \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + I_n^2}}$$

Където I е ефективна, пълна стойност на тока;

I_1 - ефективна стойност на първия хармоник на тока;

I_n - обща ефективна стойност на висшите хармонични в кривата на тока.



Фиг. 3. Форма на вълната на напрежението U и тока I при рекуперация

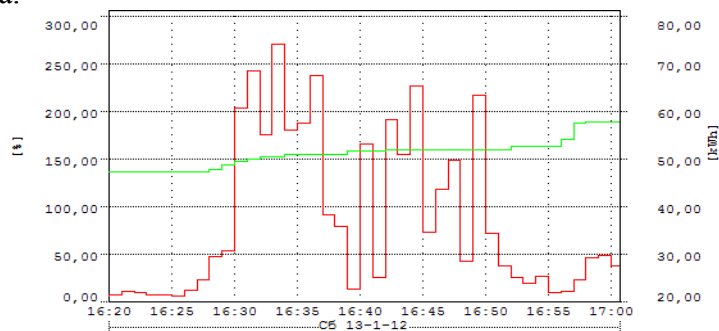
Реализирането на рекуперация генерира големи токове, които намаляват действието на височестотните съставящи, тъй като „висок коефициент на мощност се получава при по-високите товари” [3].

Друг важен критерий е „обща хармонични изкривявания” THD (Total Harmonic Distortion), който изразява степента на изкривяванията, влияещи върху тока и напрежението съгласно формули (5) и приемат стойности по-малки или равни на 1.

$$(5) THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}, \quad THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1}$$

Той също се използва за определяне на съдържанието на хармоници в мрежата. Отчита се в %. Докато общите хармонични изкривявания на напрежението са от порядък на 2÷5 %, то при общите изкривявания на тока стойността достигат до 250 % по време на рекуперация.

На фиг. 4 са показани усреднените стойности за 1 минута на THD_i и върнатата енергия в мрежата.



Фиг. 4. Минутни стойности на THD_i и енергията от рекуперация

2.2.3 Екологичен отпечатък на рекуперативното спиране

Продължителното наблюдение на екологичното влияние на електроенергийното производство у нас показва, че енергетиката ни не може да се определи като екологична. Това се дължи преди всичко на преобладаващите термични централи на въглища, явявайки се и най-голям източник на парникови газове. Поради тази причина за 2008 година, стойността на емисионната интензивност възлиза на 555 g CO₂/ kWh и стойността на екологичен еквивалент, определен за крайно енергийно потребление от 683 g CO₂/ kWh [4]. Заложеното понижаване стойността на емисионната интензивност до края на 2020 година от 156 g CO₂/ kWh се очаква да доведе до снижаване на екологичния еквивалент за крайно енергийно потребление до прогнозна стойност от около 200 g CO₂/ kWh.

Прилагайки стойността на екологичен еквивалент, в размер на 683 g CO₂/ kWh към специфичният разход на електроенергия от 35,6 Wh/ tkm ще получим стойността на екологичния еквивалент за бруто-тонкилометър, която възлиза на 24,341 g CO₂/ tkm. Без използването на рекуперативното спиране, стойността на въглеродния еквивалент би достигнала до 30,472 g CO₂/ tkm, което представлява завишение от 20,12 %.

3. Заключение

От направения в доклада анализ на резултатите, получени при експериментално изследване, можем да направим следните изводи:

- При ЕМВ 30 и 31 относителния дял на върнатата в тяговата мрежа, рекуперирана електроенергия достига до 20 % от консумираната;
- Получената при рекуперативно спиране електроенергия е с високи енергийни показатели ($\cos\phi$, THD_i , K_m);
- Оползотворената енергия получена от рекуперация повишава енергийната ефективност на ЕМВ, а от там и неговите екологични показатели.
- Оползотворената електроенергия получена при рекуперативно спиране повишава общата енергийната ефективност на тяговата електрозахранваща система, в нашия случай това води до намаляване на екологичния еквивалент на ЕМВ за бруто тонкилометър със 20 %.

В заключение можем да кажем, че използването съвременни ЕПС с възможност за рекуперативно спиране е един от начините, чрез който може да се повиши общата енергийна ефективност на тяговата електрозахранваща система. Затова, въвеждането на методика за обективна оценка на електрическата енергия получена при рекуперативно спиране може да бъде добър стимул за железопътните превозвачи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Европейска Сметна Палата, Специален доклад - Железопътни товарни превози в ЕС — все още липсва развитие в правилната посока, 12, rue Alcide De Gasperi 1615 Luxembourg LUXEMBOURG, 2016 г.;
- [2] Димитров В., Изследване на асинхронни задвижвания с честотно управление-Монография, София, 2014 г.;
- [3] Павлов Г., Изследване и анализ на възможностите за повишаване на енергийната ефективност на електрическия транспорт – Монография, София, 2019 г.;
- [4] Енергийна стратегия на Република България до 2020 г. – За надеждна, ефективна и по-чиста енергетика, МИЕТ, 2011 г.

POSSIBILITIES TO STIMULATE THE RAILWAY CARRIERS IN THE REPUBLIC OF BULGARIA BY ASSESSING OF THE ELECTRICAL ENERGY PRODUCED BY REGENERATIVE BRAKING FROM ROLLING STOCKS.

Ilko Tarpov, Todor Lalev
stsb_plovdiv@abv.bg, lalev85@gmail.com

*Todor Kableshkov University of Transport,
1574 Sofia, 158 Geo Milev Str.
BULGARIA*

Key words: *climate, railway transport, incentives, rail carriers*

Abstract: *The Republic of Bulgaria has actively participated in international efforts to prevent climate change by adopting the agreed European Union objectives and the large-scale energy package. Appropriate incentives and measures have been put into place to promote the consumption of electricity produced from renewable energy sources. Various measures have been developed to encourage the use of environmentally friendly means of transport (electric vehicles, electric cars, propane butane buses, etc.). Even it seems that in the field of the railway transportation, there is no common vision between the rail infrastructure operator and carriers in order to prevent climate change and to increase energy efficiency in the rail sector. Even there are no restrictions on the use of internal combustion engines with low-end environmental standard.*

All this raises the question of whether incentives and common actions can be sought to introduce minimum standards for energy-efficient and environmentally friendly transport services in Bulgarian legislation.

Therefore, the current paper examines the possibility of stimulating railway carriers by making an objective assessment of the electricity produced at the regenerative braking.