



ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ И ОПТИМИЗАЦИЯ НА РАЗХОДИТЕ НА ТЯГОВАТА ЕНЕРГОСНАБДИТЕЛНА СИСТЕМА НА „МЕТРОПОЛИТЕН“ ЕАД

Емил Додов
edodov@abv.bg

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

Ключови думи: *Метрополитен, електроенергийна ефективност, разходи.*

Резюме: *Столичният Метрополитен осигурява бърз и безопасен превоз на пътниците. Големият скок на цените на електроенергията ни кара да обърнем внимание на електроенергийната ефективност. Тя се определя от различни фактори, които трябва да бъдат изследвани и анализирани.*

В настоящия доклад са показани резултатите от направените проучвания, както и предвидените мероприятия за оптимизиране на разхода на електрическа енергия от дружеството. Мерките обхващат две направления: тягово и нетягово потребление. Разгледани са възможни варианти за намаляване на консумацията на електроенергия и при двата вида потребление, както и възможност за намаляване на санкциите, които плаща Метрополитен за генерираната и върната в електроразпределителната мрежа капацитивна енергия.

УВОД

Софийският метрополитен е най-важната транспортна артерия на обществения масов градски транспорт. Развитието му през последните години е изключително динамично. Строителството му започва от най-натоварената първа линия като на 28.01.1998 г. се въвежда в експлоатация първият му участък с 5 метростанции от бул. „Сливница” до бул. „К. Величков”. Тягово-понизителните станции (ТПС) и понизителните станции (ПС) в този участък са от т. нар. „стар тип”. Към датата на пускане в експлоатация те са оборудвани със съоръжения руско и чешко производство. С течение на времето голяма част от разпределителните уредби (РУ) 10 kV и DC 825kV са преоборудвани с нови съоръжения.

Поетапно през годините трасето се увеличава като се обособяват втора и четвърта метролинии. Последният участък от този етап до метростанция „Витоша” се открива на 20.07.2016 г. Всички ТПС и ПС на метростанциите (МС) са оборудвани с най-съвременни съоръжения на фирма Сименс.

От 1998 г. в Софийското метро се движат 12 метросъстава с по 4 вагона модел 81-717.4/81-714.4. Те са с постояннотоково задвижване и резисторно-контакторно

управление и нямат възможност за електрическо рекуперативно спиране. В последните няколко години част от тези метросъстави бяха реновирани и вече имат такава възможност. От 2005 г. в експлоатация влизат метросъстави с вагони модел 81-740.2/81-741.2, а няколко години по-късно и вагони тип 81-740.2Б/741.2Б, като общият им брой е четиридесет. Тези вагони са с асинхронно тягово електрозадвижване /АТЕЗ/ захранвано чрез инвертори, изградени с IGBT транзистори, които реализират векторно управление на двигателите и режим на рекуперативно спиране. [1]

През 2016 г. започва строителството на трета метролиния. На 24.04.2021 г. е открит последният участък и трасето обхваща участъка от МС „Хаджи Димитър“ до МС „Горна бяня“. Всички ТПС и ПС са оборудвани със съвременни съоръжения на фирма Сименс. Тяговото електрозахранване се осъществява чрез въздушна контактна мрежа с напрежение 1500 VDC. Трета метролиния се обслужва от нов подвижен състав – метровлакове Сименс Инспиро, които имат възможност за рекуперативно спиране.

КОМПЕНСИРАНЕ НА КАПАЦИТИВНАТА ЕНЕРГИЯ ОТДАВАНА В ЕЛЕКТРОПРЕНОСНАТА И ЕЛЕКТРОРАЗПРЕДЕЛИТЕЛНАТА МРЕЖА СРЕДНО НАПРЕЖЕНИЕ

Част от тягово понизителните станции на „Метрополитен“ ЕАД са с дълги захранващи линии от градските подстанции поради особености на кабелните трасета и възможностите пред доставчика на електроенергия. По време на сервизния режим (през нощта) по метротрасето не се движат влакове. В резултат на горните причини се генерира капацитивна енергия (КЕ), която се връща към електроразпределителната мрежа. Тя се заплаща от метрополитена. [2]

Следващите измервания и изчисления са за I, II и IV метролинии сумарно.

В таблица 1 са дадени количествата общо пренесена енергия, отдадената КЕ и съответно начислените суми за тях, както и делът на надбавката за месец май 2017 г. [3]

Таблица 1. Пренесена и отдадена енергия и дял на надбавката

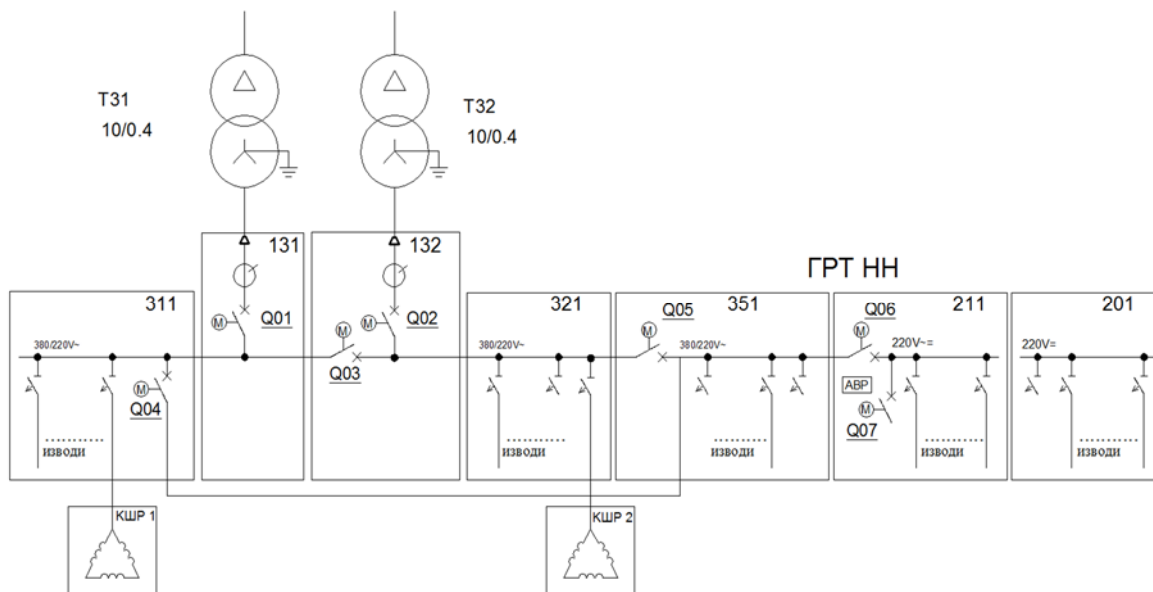
	Енергия [kWh] [kvarh]	Сума [лв без ДДС]	Дял на санкцията от общата сума за разпределение [%]
Общо пренос	4918754	143933,73	
Отдадена КЕ	249762	26949,35	18,72

От таблицата е видно, че санкцията е 18,72% от общата сума за разпределение на електрическата енергия. Това са около 300000 лв на годишна база.

Предприети са мероприятия за оптимизиране на разходите за електрическа енергия чрез намаляване на санкциите от генерирана в електрозахранващите кабелни линии средно напрежение капацитивна електроенергия. Това е осъществено с монтиране на компенсиращи шунтови реактори (КШР) с голяма индуктивност на захранващите линии 10 kV.

КШР са трифазни с номинално напрежение 0.4 kV. Присъединяването се извършва посредством нови кабелни линии 0.4 kV, изпълнени с трижилни кабели с необходимото сечение и нови автоматични прекъсвачи с лят корпус монтирани в шкаф 311/321 от съответната разпределителна уредба ниско напрежение (РУ НН). [3]

Принципна схема на монтаж на КШР към РУ НН е показана на фиг. 1.



Фиг. 1. Еднолинейна схема за присъединяване на КШР към РУ НН на ТПС

Измерената отдадена КЕ за месец септември 2017 г. от десетте захранващи линии 10 kV на съответните метростанции (МС) е дадена в таблица 2. В тази таблица е показана и отдадената КЕ и надбавка след монтажа на КШР за месец юни 2019 г.

Таблица 2. Отдадена КЕ и надбавка за един месец
м. 09.2017 м. 06.2019

№	МС / Захранваща линия	м. 09.2017		м. 06.2019	
		Q [kvarh]	Надбавка [лв без ДДС]	Q [kvarh]	Надбавка [лв без ДДС]
1	Витоша / Стефан Станчев	18781	2022,90	0	0
2	Витоша / Филип Кутев	35426	3815,73	0	0
3	Бизнес парк / Д. Дамянов	36390	3919,57	0	0
4	Бизнес парк / Зелена ливада	26004	2800,89	0	0
5	Искърско шосе / И. Арабаджиев	22896	2466,13	0	0
6	Искърско шосе / Й. Тодоров	7162	771,42	1	0,11
7	Летище / Терминал-2	29458	3172,92	0	0
8	Летище / Кр. Пастухов	22018	2371,56	1	0,11
9	Надежда / Болтавар	14208	1530,34	0	0
10	Надежда / Април	5155	555,25	0	0
Общо		217498	23426,71	2	0,22

От данните е видно, че капацитивната енергия е компенсирана почти изцяло. В таблица 3 са показани данни за месец юни 2019 г.

Таблица 3. Пренесена и отдадена енергия и дял на надбавката

	Енергия [kWh] [kvarh]	Сума [лв без ДДС]	Дял на санкцията от общата сума за разпределение [%]
Общо пренос	4800276	152893,31	
Отдадена КЕ	4273	463,45	0,3

От таблицата е видно, че санкцията е 0,3% от общата сума за разпределение на електроенергията.

След въвеждане в експлоатация на III-та метролиния отново се забелязва генериране на капацитивна електроенергия от новите захранващи кабелни линии 10 kV. На тези въводи все още няма монтирани КШР. В таблица 4 са дадени количествата общо пренесена енергия, отдадената КЕ и съответно начислените суми за тях, както и дялът на надбавката за месец юни 2022 г. за всички метролинии сумарно.

Таблица 4. Пренесена и отдадена енергия и дял на надбавката

	Енергия [kWh] [kvarh]	Сума [лв без ДДС]	Дял на санкцията от общата сума за разпределение [%]
Общо пренос	5846601	228791,92	
Отдадена КЕ	114774	13262,12	6

Наблюдава се нарастване на дела на санкцията, който достига 6% от общото количество електроенергия. Годишно тази надбавка възлиза на около 160000 лв.

ОБСЛЕДВАНЕ НА РАЗХОДИТЕ ЗА ОСВЕТЛЕНИЕ НА МЕТРОСТАНЦИИТЕ

В табл. 5 са посочени станции, които са преработени частично или изцяло с диодно осветление.

Таблица 5. Консумирана и спестена мощност за една година

№	Метростанция	Консумирана мощност, [kWh]		Спестена мощност, [kWh]
		Луминисцентно осветление	Диодно осветление	
1	Сливница	204400	94900	109500
2	Люлин	332150	72124	260026
3	Западен парк	264201	91104	173097
4	Вардар	160234	71299	88935
5	Константин Величков	213627	74460	139167
6	Опълченска	233337	81577	151760
7	Сердика	87687	23973	63714
8	Св. Кл. Охридски	109791	33356	76435
9	Стадион В. Левски	96943	34652	62291
10	Жолио Кюри	102521	32923	69598
11	Г. М. Димитров	76445	10950	65495
12	Младост I	221540	74306	147234
Общо		2102876	695624	1407252

Изчисленията са направени за работа на осветлението 20 часа в денонощие за една година. Пресметнато по цени към юни 2022 г. тази спестена мощност възлиза на 583062 лв. годишно.

Осветлението на метростанциите е постоянно включено. Беше направено експериментално измерване на икономисаната мощност при изключване на осветлението за около 4 часа след спиране на влаковото движение по време на сервизния режим. Това измерване е проведено в 5 броя типови метростанции. Установено е, че икономията е около 15 kWh на денонощие на станция. В

метрополитена са в експлоатация 47 метростанции. Сумарно тази икономисана мощност е 705 kWh на денонощие или 257 MWh годишно. Финансовото изражение на икономията е 106500 лв за една година.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОПОЛЗОТВОРЕНАТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ ОТ РЕКУПЕРАТИВНО СПИРАНЕ НА МЕТРОСЪСТАВИТЕ

Трябва да се отбележи, че по трасето на метролинии I, II и IV се движат и метросъстави с по 4 вагона модел 81-717.4/81-714.4, които нямат възможност за рекуперативно спиране. По трасето на трета метролиния всички състави могат да спират с рекуперация. Експерименталното изследване е проведено в реални експлоатационни условия. На 25.07.2022 г. метросъставите се движат с включен режим на рекуперация а на 26.07 и 27.07.2022 г. с изключен режим на рекуперация. Графикът, който изпълняват метросъставите е един и същ през трите дни на измерването, което е направено за 24 часа за всяко денонощие.[3]. Данните от измерванията са дадени в табл.6.

Таблица 6. Изразходвана ел. енергия за тягови нужди за I, II и IV метролинии

Дата	Електроенергия за тягови нужди, [MWh]	Разлика [MWh]
25.07.2022 г.	93,958	
26.07.2022 г.	122,318	25.07 / 26.07.2022 г. – 28,36
27.07.2022 г.	120,477	25.07 / 27.07.2022 г. – 26,519

По заснети данни от електромери в ТПЦ за I, II и IV метролинии видно от табл. 6 отдаваната ел. енергия при рекуперативно спиране е около 23% към общата енергия за тягови нужди. За едно денонощие (24 часа) разходът на ел. енергия за тягови нужди се намалява с около 28,36 MWh, което е 11752 лв. по цени на ел.енергия от м. юни 2022 г. За един месец стойностите са съответно 850,8 MWh или 352372,20 лв.

На 27.07.2022г. сумарно за III-та метролиния от метросъставите е отчетено усвояване на 6,111 MWh рекуперирана енергия. Това представлява около 46% дял на рекуперираната към общата електроенергия. Остойностено това са 2532 лв. по цени на ел.енергия от м. юни 2022 г. За един месец това прави съответно 183,33 MWh или 75972 лв.

Общо за I, II, III и IV метролинии оптимизиране на разходите чрез използване на рекуперираната електрическа енергия за един месец възлизат на около 1034.13 MWh или 428544,30 лв.

Трябва да се има предвид, че оползотворяване на генерираната при рекуперативно спиране електроенергия зависи от много субективни фактори. Алгоритъмът на управление по зададени параметри на движение на състава се определя от машиниста и се контролира автоматично от АЛС и АРС. По този начин някои от машинистите използват рекуперацията по-ефективно от други. [1]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И АНАЛИЗИ

Направените изследвания и последващият анализ дават възможност да се направи реална оценка на енергийната ефективност на тяговите електроснабдителни системи на метрополитена. В тази връзка набелязаните мероприятия за оптимизация на разходите за електроенергия и в двете направления – тягово и нетягово потребление дават добри резултати. Това води до повишаване на енергийната ефективност. Компенсирането на капацитивната енергия води до значително намаляване на

санкциите, като в същото време е икономически обоснована. Консумираната допълнително активна енергия е много малко, пълните загуби на КШР не надвишават 2-2.2 kW. Реакторите са с дълъг експлоатационен период и бърза възвръщаемост на инвестицията. За пълно елиминиране на тези разходи е препоръчително да се монтират компенсиращи устройства и на кабелните линии 10 kV по трета метролиния.

Подмяната на енергоемкото луминисцентно осветление на метростанциите с диодно, както и изключване на осветлението в сервизния режим също води до икономия на средства.

Също така направените измервания и анализ на усвоената енергия от рекуперативно спиране показват големия дял към общата тягова енергия. В тази връзка се препоръчва реновиране на всички състави с вагони от типа 81-717.4/81-714.4 или след изтичане на ресурса им поетапно да се подменят с такива с възможност за рекуперативно спиране. Предвид влиянието на машиниста върху енергоемкостта на състава е препоръчително машинистите да бъдат обучавани и стимулирани в тази насока.

Относно нулевия пробег са взети мерки, които водят до икономии на средства.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петров И., Димитров Г., Лалев Т. „Експериментално изследване на енергийната ефективност на метровлаковете на Столичния метрополитен в реални експлоатационни условия“, Годишник на ТУ – София, том 61, книга 1, 2017 г.
- [2] Наредба № 1 за регулиране на цените на електрическата енергия, в сила от 24.03.2017 г, изм.и доп. ДВ, бр.50 от 25 юни 2019 г.
- [3] Данни от измерване на електроенергия, техническа документация, схеми, параметри и характеристики на тяговопонижителни станции на метрополитена.

STUDY AND ANALYSIS OF THE ELECTRICAL ENERGY EFFICIENCY AND COST OPTIMIZATION OF THE TRACTION ENERGY SUPPLY SYSTEM OF METROPOLITAN EAD

Emil Dodov
edodov@abv.bg

*Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 158 Geo Milev Str.,
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Key words: *Metropolitan, electrical efficiency, costs*

Abstract: *The metropolitan metro provides fast and safe passenger transportation. The significant increase in electricity prices draws the attention to the energy efficiency. It is determined by various factors that must be researched and analyzed.*

The present report shows the results of the conducted studies, as well as the planned measures to optimize the consumption of electrical energy by the company. The measures cover two areas: traction and non-traction consumption. Considered are possible options for reducing the consumption of electricity for both types of consumption, as well as the possibility of reducing the penalties paid by the metro for the capacitive energy generated and returned to the electricity distribution network.