

ОСОБЕНОСТИ НА ТЯГОВОТО ЕЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ В ГРАДСКИЯ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТРАНСПОРТ И ТЕНДЕНЦИИ В НЕГОВОТО РАЗВИТИЕ

Георги Димитров, Албена Христова
dimitrov_gd@mail.bg, hristova_as@abv.bg

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

***Ключови думи:** градски електрически транспорт, електроенергийно потребление, тенденции.*

***Резюме:** В доклада са представени резултати от проведено изследване върху тяговото електропотребление на наземния градски електрически транспорт в град София. Изследването обхваща периода от 2010 г. до 2013 г. и има за цел да анализира характерни особености на тяговите товари, в аспекта на основни влияещи фактори върху разхода на електрическа енергия за тягови нужди и да посочи някои тенденции в неговото развитие.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременните големи градовете от съществено значение за тяхното нормално функциониране е мобилността на гражданите. Като цяло градската мобилност се осъществява чрез използване на различен вид транспорт – обществен, личен автомобилен и велосипеден, включително придвижване на населението пеша. Най-съществена роля обаче играе общественият градски транспорт в тях. Добре организиранят обществен транспорт спомага за намаляване на автомобилния трафик, намаляване на задръстванията по улиците и булевардите и по-чист въздух в градовете. От друга страна наземният градски електрически транспорт /ГЕТ/ не отделя преки емисии вредни газове в атмосферата, което го прави важен фактор за подобряване качеството на атмосферния въздух в урбанизираните територии. За да се стимулира увеличаването на пътниците в обществения градски електрически транспорт е необходимо правилно организирано движение (маршрути и графици), повишаване на съобщителната скорост и подобряване на комфорта на пътуване.

В доклада са представени резултати от проведено изследване върху електропотреблението на наземния градски електрически транспорт в гр. София през периода от 2010 г. до 2013 г. [1]. Като продължение на предходни такива на авторите, това има за цел да анализира характерни особености на тяговото електропотребление, както и да установи някои основни тенденции в електроенергийното потребление, свързани с организацията на експлоатационната дейност и обновяването на подвижния състав в трамвайния и тролейбусния парк на „Столичен електротранспорт” ЕАД.

ОБОБЩЕН АНАЛИЗ НА ТЯГОВОТО ЕЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ

Съществена особеност на общественият градски транспорт и в частност на наземния електрически такъв е, че той се движи по установен диспечерски график. Това дава основание да се очаква систематично повтарящо се електропотребление през еднаквите дните от седмицата, съответно през еднаквите месеци. На практика обаче върху месечното потребление оказват влияние и множество организационни и външни фактори, някои от които със случаен характер, водещи до значителни разлики в консумираната енергия между идентични месеци през различни календарни години [2]. В таблица 1 са представени обобщени данни за енергийното потребление и основни експлоатационни показатели – общ пробег на ГЕТ s , km и външна температура Θ , °C, имащи пряко влияние върху разхода на тягова електроенергия E , kWh.

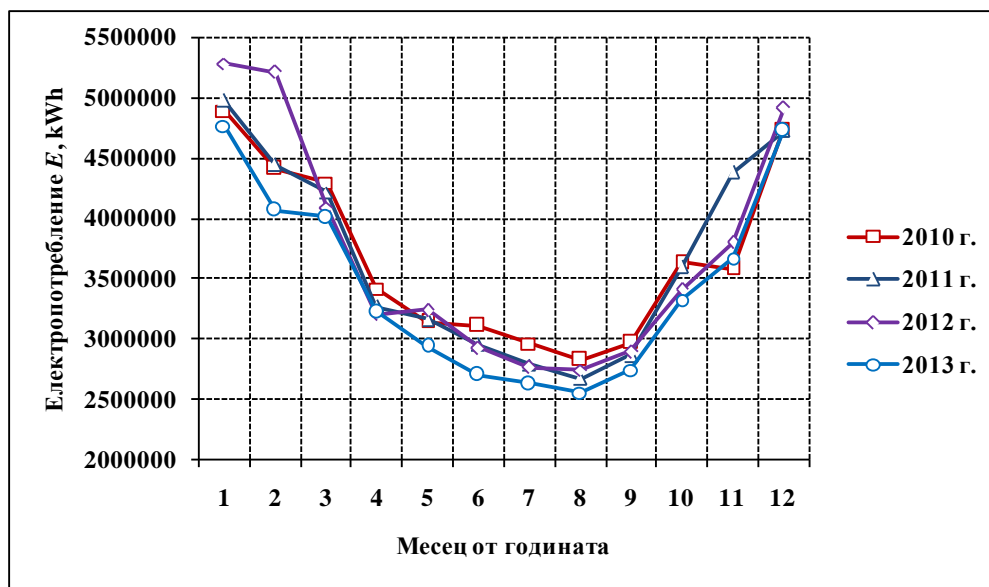
Таблица 1

Обобщени месечни данни за потреблението на електроенергия, общия пробег на ГЕТ и относителния експлоатационен разход на енергия през периода 2010-2013 г.

ПОКАЗАТЕЛ	E	P_{max}	P_{min}	s	Θ_{max}	Θ_{min}	Θ_{ave}	e
МЕСЕЦ	kWh	kW	kW	km	°C	°C	°C	kWh/km
2010 година								
Януари	4897048	12636	1848	1515749	17	-15	0,8	3,231
Февруари	4416338	13118	2000	1400101	19	-14	2,2	3,154
Март	4300501	13079	1393	1531367	22	-8	6,8	2,808
Април	3423786	9388	1243	1445547	25	0	11,9	2,369
Май	3145236	8334	1023	1470973	29	5	17,1	2,138
Юни	3114175	7704	1020	1482804	34	7	19,9	2,100
Юли	2965372	7309	905	1425988	34	10	22,6	2,080
Август	2836280	6981	887	1382658	36	11	24,1	2,052
Септември	2970322	8213	908	1400029	31	1	17,9	2,122
Октомври	3637371	10761	1207	1501722	20	-5	10,0	2,422
Ноември	3582394	10756	1424	1486134	24	-2	11,1	2,411
Декември	4756294	13118	1673	1483240	23	-15	0,5	3,207
2011 година								
Януари	4983777	12616	2398	1476334	12,5	-14	-1,1	3,376
Февруари	4446571	12552	2538	1359824	19,0	-13	0,5	3,270
Март	4218795	12348	1534	1528859	21,0	-10	6,3	2,759
Април	3269672	10001	1325	1430092	23,0	-1	11,3	2,286
Май	3166329	8732	1010	1494005	27,0	0	16,4	2,119
Юни	2958093	7500	912	1456240	34,0	10	20,7	2,031
Юли	2792904	6955	886	1363814	35,0	10	23,4	2,048
Август	2674641	6527	830	1314571	37,0	9	23,3	2,035
Септември	2868770	7895	834	1401549	34,0	6	21,2	2,047
Октомври	3598739	11057	1060	1526868	26,0	-5	10,7	2,357
Ноември	4384023	12051	2009	1503141	16,0	-9	3,3	2,917
Декември	4727375	12354	2317	1516059	16,0	-12	1,2	3,118
2012 година								
Януари	5287073	13444	2526	1540899	9	-22	-2,6	3,431
Февруари	5212486	13806	2542	1452674	11	-21	-4,0	3,588
Март	4094526	11995	1468	1536908	24	-6	7,4	2,664
Април	3208291	10951	1095	1430477	28	-4	13,1	2,243
Май	3245565	8620	1025	1514574	29	7	16,2	2,143
Юни	2932806	7601	934	1421096	35	8	23,2	2,064
Юли	2774120	6894	903	1368515	39	13	26,6	2,027

ПОКАЗАТЕЛ	E	P_{max}	P_{min}	s	θ_{max}	θ_{min}	θ_{ave}	e
МЕСЕЦ	kWh	kW	kW	km	°C	°C	°C	kWh/km
Август	2748437	6600	272	1364176	38	9	24,5	2,015
Септември	2902309	8323	919	1404947	33	5	20,4	2,066
Октомври	3414661	9712	1029	1591237	31	-1	15,1	2,146
Ноември	3801495	11349	1379	1510615	21	-2	8,8	2,517
Декември	4917519	12802	1810	1454381	13	-15	-0,7	3,381
2013 година								
Януари	4771882	12609	2414	1468982	17	-13	1,0	3,248
Февруари	4068291	12287	2197	1328102	19	-4	3,6	3,063
Март	4014824	11764	1681	1425456	19	-6	6,4	2,817
Април	3230074	9349	945	1414474	31	0	13,5	2,284
Май	2940494	7649	956	1426570	31	5	19,2	2,061
Юни	2705043	7417	888	1295248	34	5	20,4	2,088
Юли	2633460	6599	878	1266078	36	1	22,4	2,080
Август	2560438	6291	821	1251687	34	10	24,4	2,046
Септември	2750078	7958	966	1297974	30	4	17,8	2,119
Октомври	3330133	8979	996	1478844	27	-3	13,0	2,252
Ноември	3672713	12854	1481	1401019	20	-7	8,2	2,621
Декември	4734214	12529	2265	1409739	15	-11	0,4	3,358

Представени в табличен вид, експерименталните данни не са удобни за извършване на сравнение и анализ на тенденциите през отделните месеци и години. Поради тази причина основните експлоатационни показатели за периода 2010-2013 г. са показани в графичен вид на фигури 1÷4.



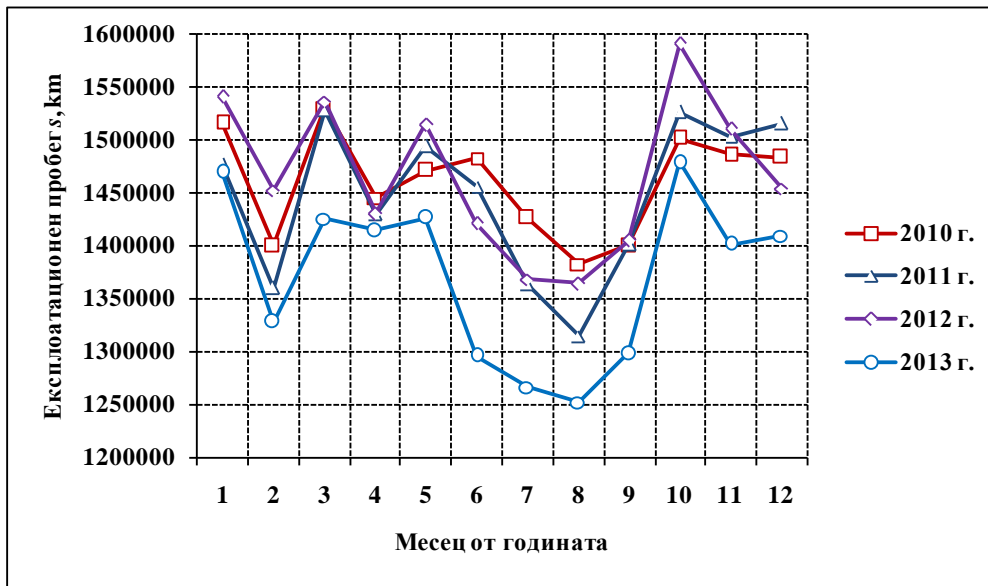
Фиг. 1. Абсолютно електропотребление на ГЕТ в гр. София

От данните в таблица 1 и построените графични зависимости е направен анализ за влиянието на основни фактори върху относителния разход на енергия e , kWh/km.

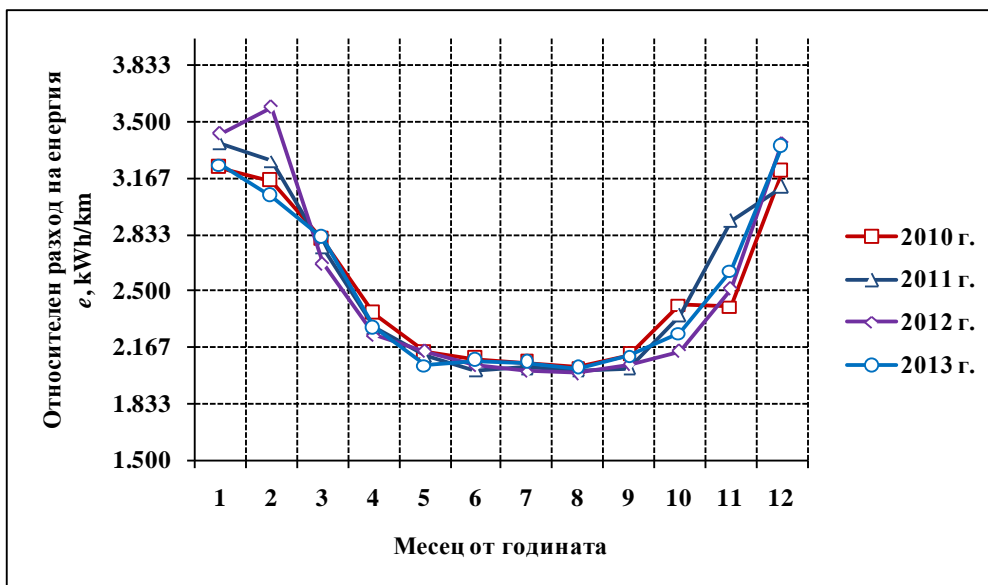
Влияние на външната температура върху относителния разход на енергия.

През есенно-зимните месеци се наблюдава силно изразена обратно пропорционална зависимост между външната температура θ , °C и относителния разход на енергия e , kWh/km. Такава не се забелязва през пролетно-летните месеци, поради

отсъствие на климатизация в над 88% от експлоатираните през периода транспортни средства (виж фигури 1, 3 и 4).



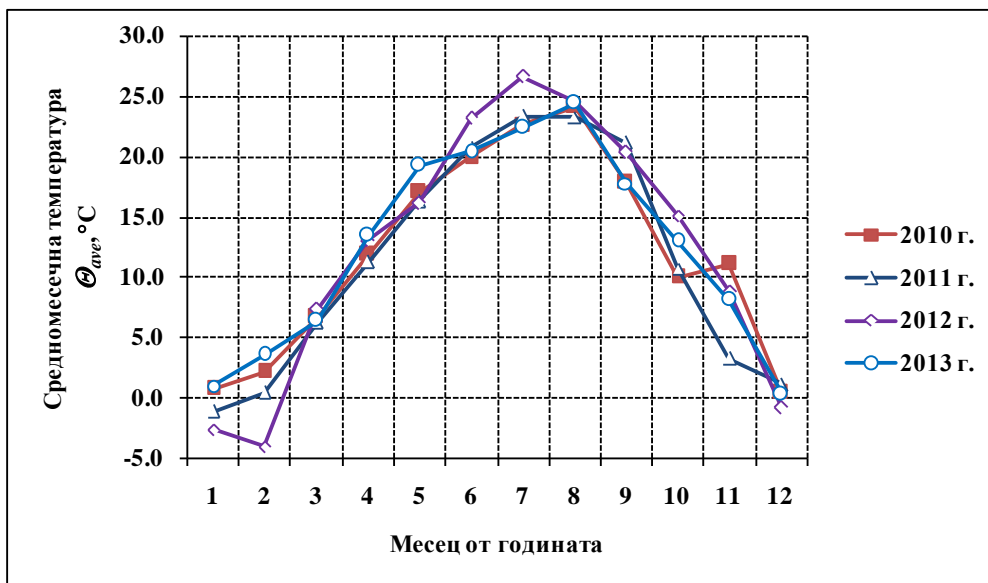
Фиг. 2. Експлоатационен пробег на ГЕТ в гр. София



Фиг. 3. Общ относителен експлоатационен разход на ГЕТ

Влияние на пътничопотока и уличния трафик върху относителния разход на енергия.

През пролетно-летните месеци определящо влияние върху относителния разход e , kWh/km, респективно върху общото електропотребление E , kWh, имат променливия пътничопоток, трафика и регулирането на движението по маршрутните линии. През зимните месеци влиянието на тези два фактора не е така ясно изразено, поради наличието на значителен по стойност отоплителен товар в транспортните средства. Работните мощности за отоплението на практика неутрализират колебанията в разхода, породени от променливите превозни и пътни условия.



Фиг. 4. Средномесечни температури в гр. София

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИТЕ РЕЗУЛТАТИ В ПРАКТИКАТА

Получените резултати от изследването позволяват да се установят някои математически зависимости, свързани с възможности за аналитично определяне на относителния разход e , kWh/km, а чрез него и пробега s , km – на месечното електропотребление. За целта са проведени са два числени експеримента, на база почти неизменна структура на подвижния състав на ГЕТ през периода. При първият е изследвана връзката между изменението на параметъра средномесечна температура θ_{ave} , °C и относителния разход на енергия e , kWh/km, а при вторият – влиянието на пътничкопотоците и интензивността на уличното движение върху същия показател.

Резултатите показват, че през есенно-зимните месеци са налице относително постоянни пътничкопоток и пътен трафик, а наличието на отопление в транспортните средства оказва силно изглаждащ ефект върху колебанията на тяговия товар, предизвикани от други случайни външни фактори [2]. Това позволява за изчисляване на относителния разход на енергия e , kWh/km да се използва линейна зависимост от вида

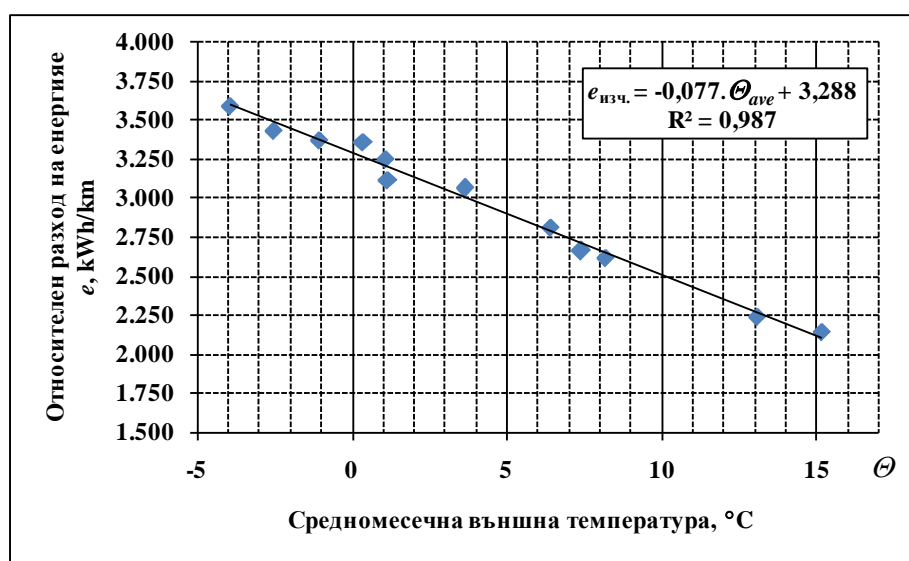
$$(1) \quad e_{изч.} = -A \cdot \theta_{ave} + B,$$

в която коефициентът $A > 0$ отразява влиянието на изменението на външната температура, а коефициентът B е средностатистическата стойност на относителния разход при външна температура 0 °C. При определяне числените стойности на коефициентите A и B във формула (1) е използван метода на най-малките квадрати, като стойността на коефициента на множествена корелация е $R^2 = 0,987$ (виж фиг. 5).

В таблица 2 са показани резултатите от изчисленията за относителния разход на енергия през зимен експлоатационен период, проведени с използване на формула (1) и стойностите на относителната грешка.

С натрупване на нова статистическа информация и отчитане на настъпили промени в експлоатационния парк и графици за движение, стойностите на коефициентите A и B във формула (1) следва да се определят отново. По този начин максималната грешка в изчисленията може да се сведе до под $\pm 3\%$, което за нуждите на практико-приложния инженерен анализ е с достатъчна точност.

Формула (1) не може да се ползва за прогнозно определяне на относителния разход през месеците от май до септември, тъй като през този период определящо влияние имат пътничкопотока, трафика и регулирането на уличното движение.



Фиг. 5. Зависимост между средномесечната външната температура Θ_{ave} и относителния разход за зимния период на експлоатация

Таблица 2

Данни от изчисленията на относителния разход e , kWh/km за зимен експлоатационен период

Месец от годината	Ср. месечна темпер. Θ_{ave} °C	Относителен разход e , kWh/km		Относит. грешка %
		Изчислен	Реален	
Януари 2011	-1,1	3,373	3,376	-0,09%
Февруари 2011	0,5	3,252	3,270	-0,56%
Март 2011	6,3	2,805	2,759	1,65%
Април 2011	11,3	2,419	2,286	5,79%
Октомври 2011	10,7	2,463	2,357	4,48%
Ноември 2011	3,3	3,036	2,917	4,09%
Декември 2011	1,2	3,199	3,118	2,59%
Януари 2012	-2,6	3,486	3,431	1,59%
Февруари 2012	-4,0	3,594	3,588	0,17%
Март 2012	7,4	2,719	2,664	2,06%
Април 2012	13,1	2,281	2,243	1,69%
Октомври 2012	15,1	2,123	2,146	-1,09%
Ноември 2012	8,8	2,608	2,517	3,63%
Декември 2012	-0,7	3,346	3,381	-1,05%
Януари 2013	1,0	3,207	3,248	-1,27%
Февруари 2013	3,6	3,008	3,063	-1,81%
Март 2013	6,4	2,796	2,817	-0,73%
Април 2013	13,5	2,248	2,284	-1,57%
Октомври 2013	13,0	2,287	2,252	1,54%
Ноември 2013	8,2	2,660	2,621	1,45%
Декември 2013	0,4	3,260	3,358	-2,91%

ИЗВОДИ ОТ ПРОВЕДЕНОТО ИЗСЛЕДВАНЕ

Получените резултати от проведеното изследване показват, че електропотреблението на градския електрически транспорт зависи от множество фактори, които съвкупно формират общата картина на електропотреблението през различни периоди на годината.

През месеците със средномесечна температура $\theta_{ave} < 13$ °C, определящо влияние върху електропотреблението на ГЕТ има външната температура. За периодите без отопление на транспортните средства, относителният разход e , kWh/km зависи изцяло от организацията на движение и броя на превозваните пътници в градския електрически транспорт.

В заключение може да се отбележи, че към 2014 г. около 80% от експлоатационният парк на тролейбусния транспорт и около 15% от трамвайния ще бъдат обновени с нови транспортни средства с високоефективни асинхронни тягови електрозадвижвания и климатични системи с целогодишен режим на работа за поддържане на показателите за комфорт [3]. Подобреният комфорт на пътуване се очаква да доведе до повишаване на относителния тягов разход e , kWh/km през летните месеци с около 5÷7%, докато през зимните се очаква той да запази сегашните си стойности или да намалее с до 5%, благодарение намалените топлинни загуби през каросериите (или кошовете) и електронните системи за регулиране на системите за отопление и климатизация при новите градски електрически транспортни средства.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Статистически данни за тяговото електропотребление и пробега на градския електрически транспорт в гр. София за 2010-2013 г., „Столичен електротранспорт” ЕАД – поделение „Трансенерго и РП”.

[2] Анализ на тяговото електропотребление на градския електрически транспорт в гр. София и насоки за оптимизирането му, Научни трудове на Русенски университет – 2012, том 51, серия 3.1, стр. 75-81.

[3] БДС EN 14750-1:2006, Железопътна техника. Климатизатори за градски и крайградски подвижен състав. Част 1: Основни показатели за комфорт, Български институт по стандартизация, 2006.

PECULIARITIES OF TRACTION POWER CONSUMPTION IN URBAN ELECTRIC TRANSPORT AND TRENDS IN ITS DEVELOPMENT

Georgi Dimitrov, Albena Hristova
dimitrov_gd@mail.bg, hristova_as@abv.bg

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

Key words: *public transportation, electricity consumption, trends*

Abstract: *The report presents the results of a survey on the traction power consumption of ground urban electric transport in Sofia. The study covers the period from 2010 to 2013 and aims to analyze the characteristics of traction loads, in light of the major influencing factors on the power consumption for traction purposes and to indicate some trends in its development.*