

STUDY OF THE DEPENDENCE BETWEEN ELECTRICITY CONSUMPTION AT A SUBSTATION IN NORTHEASTERN BULGARIA AND THE AMBIENT TEMPERATURE ⁶

Assoc. Prof. Vyara Ruseva, PhD

Department of Electric Power Engineering,

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: 082-888 655

E-mail: vruseva@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Anka Krasteva, PhD

Department of Electric Power Engineering,

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: 082-888 655

E-mail: akrasteva@uni-ruse.bg

Abstract: *In many literary sources, it is reported that one of the main factors affecting electricity consumption is the ambient temperature. At the same time, measures are introduced to improve energy efficiency, expressed in the introduction of new technologies in production processes, renovation of buildings, use of energy-saving electrical appliances, etc. From an economic point of view, the price of electricity is of essential importance. Therefore, electricity consumption in the country changes dynamically. The highest electrical loads are still obtained in winter due to the presence of cold temperatures and strong winds. The use of electricity from renewable energy sources supports the operation of the electrical power system in these cases. Electrical loads are critical to provide in winter, when there are low temperatures, clouds and no wind. In such periods, it is necessary to ensure the balance between the consumption and the generation of electrical energy, so that there are no problems with maintaining the voltages in northeastern Bulgaria.*

The article examines the correlation dependences of electricity consumption on the temperature of the inputs and outputs of a 110/20 kV substation located in northeastern Bulgaria. Data were obtained from three-phase static electricity meters ZMD405CT at the 110 kV inputs and at the 20 kV outputs of the substation and were processed. From the annual load schedules, the values of the maximum, filling and uniformity coefficients were obtained, which characterize the shape of the load schedules at both voltage levels. Regression models and correlation coefficients were obtained for a 110 kV power line and for a 20 kV outputs. The resulting coefficients and dependencies can be used in forecasting electricity consumption and designing high and medium voltage networks.

Keywords: *correlation dependences, power consumption, temperature, indicators of load schedules*

ВЪВЕДЕНИЕ

Изменението на климата е факт, който не може да бъде пренебрегван. Европейският съюз (ЕС) активно се ангажира и подкрепя действията в областта на подобряването на климата чрез Рамковата конвенция на ООН за изменение на климата и Парижко споразумение. То влиза в сила на 4 ноември 2016 г. и е ратифицирано от общо 55 страни, които са отговорни за над 55% от общите емисии на парникови газове. Всички държави от ЕС ратифицират това споразумение и се предприемат действия, за да се превърнат те в първи неутрални страни по отношение на климата до 2050 г.

Зависимостта между електропотреблението и среднодневната температура се разглежда в много научни публикации (Nedev N., Martev K. & Koev K., 2015, Ruseva V., 2001 и др.). Тази зависимост се използва при прогнозиране на електропотреблението.

⁶ Докладът е представен на 25 октомври 2024 г. в секция „Електротехника, електроника и автоматика“ с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗАВИСИМОСТТА МЕЖДУ КОНСУМАЦИЯТА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ В ПОДСТАНЦИЯ В СЕВЕРОИЗТОЧНА БЪЛГАРИЯ И ОКОЛНАТА ТЕМПЕРАТУРА

Разглежданият проблем е актуален, тъй като промяната на температурата влияе на годишните, месечните, седмичните и денонощните товари графици. Конкретните атмосферни условия в даден ден и час имат случаен характер, което обуславя корелационния характер на товарите графици.

Промяната на товарите графици се дължи и на други фактори: изменения на цените на електрическата енергия, повишена използваемост на системите за охлаждане, повишени изисквания относно температурата в промишлени, обществени и битови сгради; транспортни системи и влияние на ефективността на електроенергийните съоръжения (Bertoldi P. & Bettina Hir., 2013, Tzeiranaki S., et etc., 2019).

От казаното по-горе се вижда, че промяната на среднодневните температури влияе пряко върху електропотреблението.

Целта на статията е да се получат коефициенти, определящи годишните товари графици и корелационни зависимости на електропотреблението от температурата на въводите и изводите на подстанция 110/20 kV, разположена в североизточна България.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Най-високите електрически товари се получават все още през зимата, вследствие наличието на ниски температури и силен вятър. Използването на електрическа енергия, произведена от възобновяеми енергийни източници, подпомага работата на електроенергийната система в известна степен. По-критични за обезпечаване са електрическите товари през зимата, когато има ниски температури, облачност и няма вятър. В такива периоди е необходимо да се осигури балансът между потреблението и генерацията на електрическа енергия, за да няма проблеми с поддържане на напреженията в североизточна България.

За обект на изследването е избрана подстанция в североизточна България, която се захранва от три електропровода с номинално напрежение 110 kV.

Откритата разпределителна уредба 110 kV на подстанцията е реализирана с единична шинна система. В нея има два двунамотъчни трансформатора с номинална мощност 25 MVA, тип ТДН 25000/110-76Y1, които работят поотделно - като се редуват всеки месец.

Закритата разпределителна уредба 20 kV на подстанцията е изпълнена в класически вариант - с двойна шинна система.

За техническо измерване на електрическата енергия, към всеки от трите захранващи електропровода, е монтиран електромер тип ZMD405CT с клас на точност 0,5S, производство на фирмата Landis&Gyr. Електрическата енергия се измерва индиректно, като съответният електромер е свързан към токови и напрежениви измервателни трансформатори.

За търговско измерване на електрическата енергия се използват електромери тип ZMD402CT, с клас на точност 0,2S. Те са монтирани на страна средно напрежение на силовия трансформатор и на трансформатора за собствени нужди.

От данните, получени от статичните електромери, монтирани на 110 и 20 kV са изчислени средноденонощните енергии. Получените данни са използвани за определяне на следните показатели на годишните товари графици:

- коефициент на максимума:

$$K_M = P_M / P_C, \quad (1)$$

където P_C е средната стойност на годишното натоварване, kW;

P_M – максималният товар, kW.

- коефициент на запълване:

$$K_Z = P_C / P_M; \quad (2)$$

- коефициент на равномерност:

$$K_P = W_{MIN} / W_{MAX} \quad (3)$$

където W_{MIN} е енергията за най-малко натоварения месец от годината, kWh;

W_{MAX} е енергията за най-малко натоварения месец от годината, kWh.

Таблица 1.

Показатели на годишните товарни графици на подстанция в североизточна България

Коефициент	Страна средно напрежение, 20 kV				Електропровод „Аспарух“ 110 kV			
	зимен период		летен период		зимен период		летен период	
	работни дни	почивни дни	работни дни	почивни дни	работни дни	почивни дни	работни дни	почивни дни
K_M	1,3	1,3	1,3	1,8	1,6	1,6	2,3	1,8
K_3	0,8	0,8	0,8	0,5	0,6	0,6	0,4	0,5
K_P	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,3	0,5	0,4

Стойностите на коефициента на максимума на товарите графици за извод 20 kV и за ЕП „Аспарух“ 110 kV за зимния период през работните и почивните дни са еднакви. За летния период за извод 20 kV - през почивните дни, коефициентът на максимума има по-висока стойност в сравнение с тази през работните дни с 27,8%. За ЕП „Аспарух“ 110 kV - за летния период, стойността на коефициента на максимума за работен ден също е с 27,8% по-висока от тази за почивните дни.

От стойностите на коефициента на запълване на товарите графици за разглежданите периоди се вижда, че получените резултати са еднотипни с тези за коефициента на максимума. За летния период се вижда, че за извод 20 kV през работните дни коефициентът на запълване приема по-голяма стойност в сравнение с почивните дни. За ЕП „Аспарух“ 110 kV има разлика в стойността на коефициента на запълване през летния период и тя е по-висока през почивните дни.

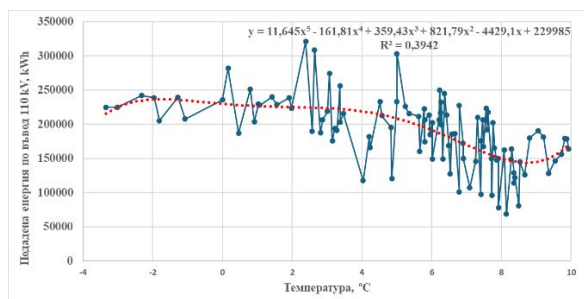
От стойностите на коефициента на равномерност на товарите графици за разглежданите периоди се вижда, че за извод 20 kV както за зимния, така и за летния период, между работните и почивните дни, стойността на показателя е една и съща. На практика тези товарите графици са относително равномерни (превишаването на максималния към минималния товар е по-малко от два пъти). За ЕП „Аспарух“ 110 kV се забелязва малка разлика между стойността на коефициента на равномерност, но на практика товарите графици също са равномерни.

Получаването на зависимостта между средноденонощното електропотребление и средноденонощната температура се извършва по следната методика:

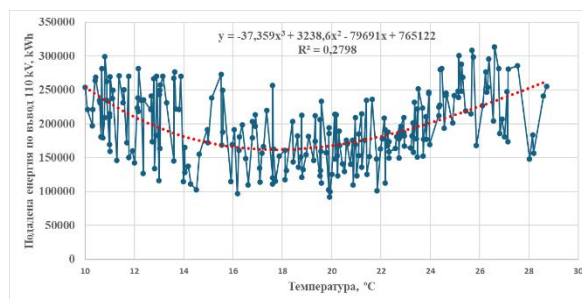
- определяне на вида на регресионния модел. За да се избере правилно общият вид на модела трябва да се вземат предвид особеностите на разглеждания физически процес. В случая е подходящо да се използват полиноми;
- коефициент на корелация r_{Wc} показва връзката между случайните величини – подадена по извода/въвода средноденонощна енергия W_c и средноденонощната температура T ;
- коефициент на детерминация R (мярка за определеност). Той определя до колко регресионният модел предсказва по-добре от средната стойност. Той се изменя в интервала $0 < R < 1$. Двете гранични стойности на този коефициент се определят по следния начин: когато двете величини са независими, всички коефициенти в модела с изключение на свободния член са равни на нула, а когато зависимостта между двете величини е силно функционална и структурата на модела е правилно избрана, то $R=1$. На практика R рядко достига граничните си стойности.

Използването на полиноми от по-висока степен за описване на корелацията в целия диапазон на изменение на температурите има следния недостатък – той добре описва зависимостта в диапазона на изменението на двете величини, но извън него той има склонност към осцилация. Затова се предлага изследваната зависимост да се раздели на няколко участъка.

На фиг. 1 са показани зависимостите на среднодневното електропотребление от среднодневните температури за въвод 110 kV, а на фиг. 2 - за извод средно напрежение 20 kV.

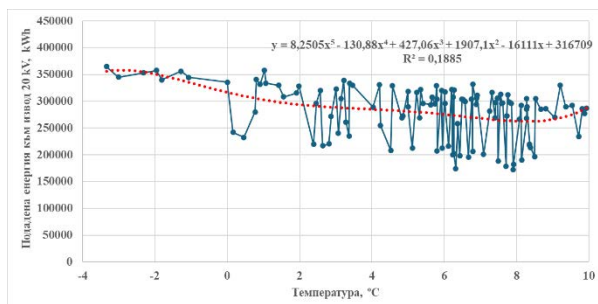


а) Температурен диапазон от -4 до +10° C

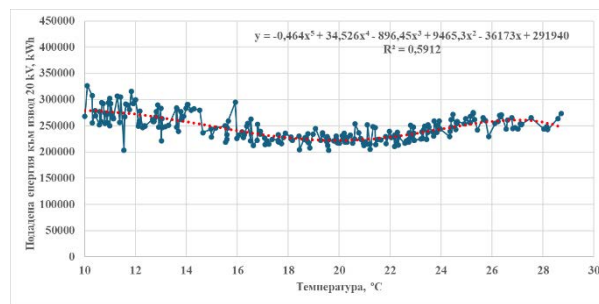


б) Температурен диапазон от +10 до +30° C

Фиг. 1. Зависимост на подадената енергия за въвод 110 kV във функция от средноденонощната температура



а) Температурен диапазон от -4 до +10° C



б) Температурен диапазон от +10 до +30° C

Фиг. 2. Зависимост на подадената енергия към извод 20 kV във функция от средноденонощната температура

Пресметнати са коефициентите на корелация между подадената енергия за въвод 110 kV и за извод 20 kV във функция от средноденонощната температура. Получени са следните резултати:

- за въвод 110 kV, за температурния диапазон от -4 до +10° C коефициентът на корелация е -0,56, а за диапазона от +10 до +30° C е -0,02. Това означава, че съществува корелационна зависимост в първия температурен диапазон, т.е. при намаляване на температурата се увеличава среднодневното електропотребление. Във втория температурен диапазон на практика липсва корелационна зависимост;
- за извод 20 kV, за температурния диапазон от -4 до +10° C коефициентът на корелация е -0,39, а за диапазона от +10 до +30° C е -0,37. В този случай съществува по-слабо изразена корелационна зависимост и в двата температурни диапазона.

От направено сравнение с подобни резултати в други литературни източници (Nedev N., Martev K. & Koev K., 2015, Ruseva V., 2001 и др.) се вижда, че намалява корелацията между електропотреблението и среднодневната температура, което обуславя изравняване на товарите графици. В (<https://www.energyinst.org/>) се вижда, че годишното изменение на електропотреблението на глава от населението за Европейския съюз намалява и за 2023 г. е с 2,1% по-малко от това през 2013 г., т.е. за десетгодишен период. Получените резултати могат да се използват при експлоатацията и прогнозиране на електропотреблението в североизточна България (Plan for the development of the transmission electricity network of Bulgaria for the period 2022-2031).

ИЗВОДИ

Изчислени са следните показатели на годишните товари графици на подстанция в североизточна България: коефициент на максимума, коефициент на запълване и коефициент на равномерност. Изчисленията са направени поотделно за зимен и летен период и за работни и почивни дни. От получените резултати може да се направи изводът, че товарите графици са относително равномерни (превишаването на максималния към минималния товар е по-малко от два пъти).

Получени са корелационни зависимости между електропотреблението и средноденоношната температура на околната среда за въвод 110 kV и извод 20 kV на подстанцията и са представени в графичен и табличен вид. Изчислени са коефициентите на детерминация и корелация. От получените резултати се вижда, че намалява зависимостта между електропотреблението и среднодневната температура, което обуславя изравняване на товарите графици. Получените коефициенти и зависимости могат да се използват при експлоатацията и прогнозиране на електропотреблението в североизточна България.

REFERENCES

Bertoldi P. & Bettina Hir. *An econometric model to access residential electricity savings in the EU*. In Proceedings of the 7th International Conference EEDAL'13 Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting, Coimbra, Portugal, 11–13 September 2013, 45 – 55.

Energy Institute Statistical Review of World Energy 2023 72nd edition (<https://www.energyinst.org/>)

Kasperowicz Rafał., Electricity Consumption and Economic Growth: Evidence from Poland, *Journal of International Studies*, Vol. 7, No 1, 2014, 46-57

Nedev N., Martev K. & Koev K. (2015). *An Investigation of the Electric Power Consumption of a Residential District Depending on the Ambient Temperature*. *Journal of Ecology and Environment Sciences*, vol. XIV, No. 1–2 Sofia, 20-22. (**Оригинално заглавие:** Недев Н., Мартев К., Коев К. Изследване на електропотреблението на жилищен квартал в зависимост от температурата на околната среда. *Екология и бъдеще*, год. XIV, No. 1–2, София, 20-22)

Plan for the development of the transmission electricity network of Bulgaria for the period 2022-2031, Sofia, 2022, p.32 (**Оригинално заглавие:** План за развитие на преносната електрическа мрежа на България за периода 2022-2031 г., София, 2022, стр.32)

Ruseva V., *Study of the correlation between household electricity consumption and average daily temperature*. *Conference of SNRB, Ruse, 2001* (**Оригинално заглавие:** Изследване на корелацията между битовото електропотребление и среднодневната температура. Конференция на СНРБ, Русе, 2001)

Tzeiranaki S., Bertoldi P., Diluiso F., Castellazzi L., Economidou M., Labanca N., Serrenho T. & Zangheri P. *Analysis of the EU Residential Energy Consumption: Trends and Determinants*. *Energies* 2019, 12, 1065 (www.mdpi.com/journal/energies)