

# Методика за получаване на показателите на усреднени денонощни товари графици на вятърна електроцентрала

Вяра Русева, Орлин Петров, Стефан Стефанов

**Methodology for obtaining of indicators of daily average load profiles of wind power station:**  
*The use of renewable energy sources are increases, as by UCTE data for 2007, electricity production in the European Union from wind farms is nearly 30% more than in 2006. In recent years Bulgaria has built many wind power stations, as by 2008 the installed capacity increased by 35%. The purpose of this work is to propose a methodology for obtaining of the indicators of daily average load profiles of wind power station and on this basis to obtain and analyze data about the usability of a particular wind power station.*

## ВЪВЕДЕНИЕ

В много литературни източници [6, 7] се дава информация, че непрекъснато нараства делът на произведената електрическа от вятърна енергия. Според проучвания на Европейската асоциация за вятърна енергия се очаква до 2020 г. 12% от общото електропотребление да се покрие от електрическа енергия, произведена от вятърни електроцентрали (ВяЕЦ), а до 2030 г. този процент се очаква да се увеличи до 20%. По данни от Международната агенция по енергетика през последното десетилетие електрическата енергия произведена от вятърна енергия има най-голям ръст в сравнение с другите възобновяеми енергийни източници. Това определя актуалността на разглежданата проблематика.

Подходящи условия за изграждане на ВяЕЦ в България съществуват в североизточната част от страната. За да се осигури присъединяването на ВяЕЦ се налага да се изградят нови преносни и разпределителните мрежи или да се реконструират съществуващите, като основната цел е да не се нарушава устойчивата работа на електроенергийната система (ЕЕС) [2, 3]. Произведената електрическа енергия от ВяЕЦ зависи силно от вятъра, който е непостоянен като енергиен източник. Необходимо е да се разполага с информация за усреднени годишни и денонощни товари графици (ТГ) и стойностите на техните основните показатели, за да може те да се използват при проектирането и оценката на икономическия ефект от вложените средства за изграждането на нови мрежи. Един от основните показатели е месечната използваемост на максималния товар за характерни периоди (зимен и летен) от годината.

При присъединяването на ВяЕЦ задължително трябва да се спазват правилата за управление на ЕЕС (grid code). Увеличаването на относителния дял на включените в паралел към електроенергийната система ВяЕЦ не трябва до води до влошаване на качеството на електрическата енергия [1].

**Целта** на работата е да се предложи методика за получаване на показателите на усреднени денонощни товари графици и да се анализират получените резултати за малка вятърна електроцентрала с мощност 500 kW.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

*Методика за получаване на показателите на усреднени денонощни товари графици*

Товаровият график (ТГ), представлява изменението на електрическия товар във функция от времето и може да се разглежда като *случаен процес*. Непрекъснатите ТГ са трудни за получаване и сложни за анализ и сравнение. Затова в практиката вместо непрекъснати се използват дискретизирани ТГ с период на дискретизация 15, 30, 45 или 60 min [3] за характерни периоди от годината.

Усреднените денонощните ТГ могат да се получават като се използват данни

от статични електромери. Най-често изходните данни за ТГ представляват матрица от вида:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & & & \\ A_{m1} & A_{m2} & \dots & A_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

С помощта на формула (1) е показано, че денонощието е разделено на  $m$  еднакви интервала, за които е направен запис на енергията  $A$ , а изследваните денонощия са означени с  $1, 2, \dots, i, \dots, n$ . Всеки интервал представлява едно сечение на ТГ и за него се изчисляват  $n$  стойности на мощността. Продължителността на измерванията е необходимо да бъде по-голяма от изчислената по методиката дадена в [5]. От статистическите характеристики на отделните сечения могат да се получат усреднени денонощни ТГ, като за целта могат да се изчислят: средна стойност на произвежданата/консумираната активна (реактивна) мощност; нейното средноквадратично отклонение и съответно долна и горна граница на доверителния интервал на средната стойност при доверителна вероятност  $\gamma = 0,95$ . От статистическите характеристики надлъжно на графика се определят изчислителните товари и коефициенти.

След като се получат данните за усреднените денонощни ТГ от тях се определят следните денонощни товари:

- $P_{сд}$  – средноденонощен товар;
- $P_{сдмах}$  – средноденонощен товар за деня с най-голямо натоварване през изследвания период;
- $P_{сдмин}$  – средноденонощен товар за деня с най-малко натоварване през изследвания период;
- $P_{м}$  – действителен максимален товар за деня с най-голямо/най-малко натоварване;
- $P_{д}$  – действителен товар, който се определя за интервала с най-голямото натоварване през целия изследван период т.е. това е действителният максимален товар ( $P_{дмах}$ ) и за интервала с най-малкото натоварване през целия изследван период, т.е. това е действителен минимален товар ( $P_{дмин}$ ).

Въз основа на получените стойности за денонощните товари могат да се получат следните показатели на денонощните ТГ:

- $K_{им}$  – коефициент на използване, получен като отношение между средноденонощния и действителния максимален товар за деня с най-голямо/най-малко натоварване ;
- $K_{и}$  - коефициент на използване, получен като отношение между средноденонощния товар и номиналната мощност на генератора ;
- $K_{т}$  - коефициент на търсене, получен като отношение между действителния максимален товар за деня с най-голямо/най-малко натоварване и номиналната мощност на генератора;
- $K_{нерм}$  – коефициент на неравномерност, получен като отношение на действителния максимален товар за деня с най-малко натоварване към действителния максимален товар за деня с най-голямо натоварване;
- $K_{нерс}$  - коефициент на неравномерност, получен като отношение на средноденонощните товари за деня с най-малко натоварване към този с най-голямо натоварване.

Използваемостта на максималния товар  $T_{м}$  се определя като отношение на произведената електрическа енергия за период от време  $T$  към максималния товар.

В [3] е посочено, че използваемостта на максималния товар може да се определя в абсолютни или в относителни единици. В българската литература тя се дава най-често в часове за година, а в западната литература се използват безразмерни коефициенти. Изчисляването на такъв безразмерен коефициент, наречен коефициент на плътност на товара **LDF**, може да бъде направено по формулата:

$$LDF = \frac{W}{P_M \cdot T} = \frac{T_M}{T} . \quad (2)$$

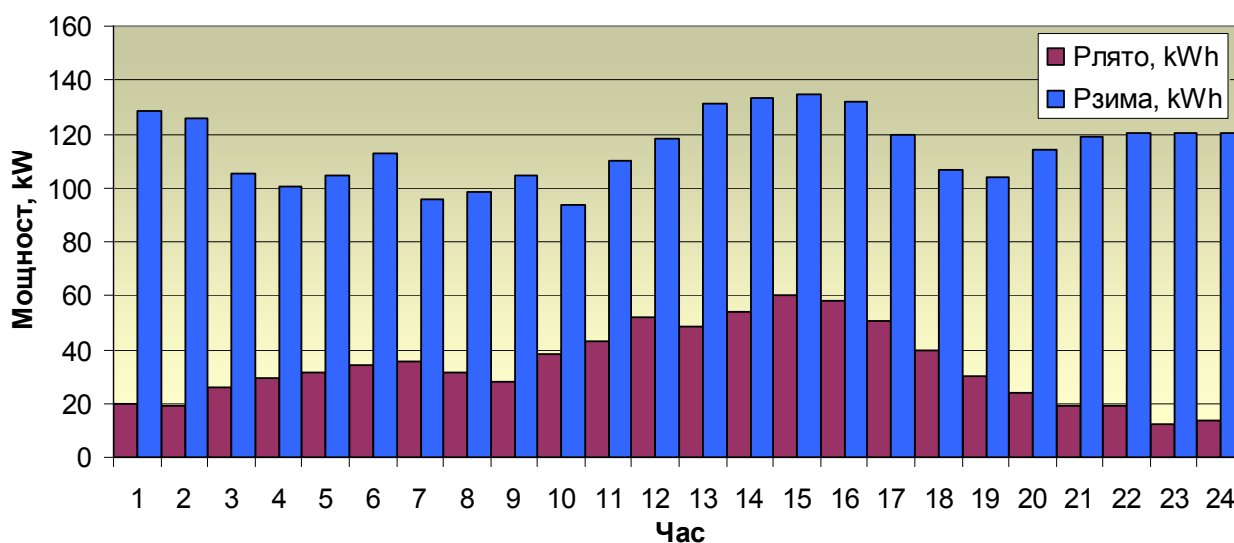
На практика формула (2) определя използваемостта на максималния товар, но в относителни единици, за желан период от време **T** (година, месец, денонощие). Получените стойности за този коефициент могат да се използват при проектирането и експлоатацията на електрическите мрежи, с помощта на които се присъединяват ВяЕЦ към електроенергийната система, при условие че скоростта на вятъра е приблизително еднаква с тази на изследвания обект.

#### *Получени резултати за избрания обект на изследването*

За обект на изследването е избрана малка ВяЕЦ с един вятърен генератор, който е с номинална мощност 500 kW и номинално напрежение 690 V. Местоположението на изследвания обект е в областта на гр. Калиакра. Връзката с електроенергийната система се осъществява чрез кабел (3x САХЕКТ 1x 95 mm<sup>2</sup>), който преминава във въздушен електропровод 20 kV. На първия стоманорешетъчен стълб са монтирани разединител РОМЗ 20/200 (U<sub>n</sub>=20 kV , I<sub>n</sub>=200 А и U<sub>max</sub>=24 kV) и вентилни отводи POLIM – D24 N, които служат за защита от пренапрежения.

Търговското измерване на електрическата енергия се извършва със статичен електромер, който е четириквadranten. Това дава възможност да се измерват закупените активна и реактивна енергия и продадените такива. За този обект се разполага с данни за енергиите, записани от статичния електромер през 15 минутни интервали, за два характерни периода от годината – зимен от 23.12.2008 г. до 21.01.2009 г. и летен от 25.07.2009 г. до 25.08.2009 г.

По представената по-горе методика са обработени данните от статичния електромер и на фиг. 1 е показан усреднен денонощен товаров график за зимен и летен сезон.



Фиг. 1. Усреднен денонощен товаров график на ВяЕЦ с мощност 500 kW за зимен и летен сезон

Получено е, че средноденоношната произведена електрическа енергия през зимния сезон е 2753 kWh, а през летния сезон е 819 kWh. Произведената

електрическа енергия средно за един зимен месец е 3,4 пъти по-голяма спрямо тази за един летен месец. Подобни товарови графици е възможно да се получат и изследват и за преходните периоди – пролетен и есенен. Ако показаният на фиг. 1 денонощен товаров график се представи като типов товаров график, той може да се използва при определяне на средноденонощното производство на електрическа енергия в области, където скоростта на вятъра е както тази за изследвания обект.

В табл.1 са представени резултатите за основните коефициенти на ТГ за двата характерни периода (зимен и летен), през които е направено изследването. С  $A$ , kWh е означена произведената активна електрическа енергия. Освен това са определени стойностите на коефициентите на ТГ и за два характерни случая – за деня с най-голямото натоварване и за деня с най-малкото такова.

Таблица 1.

Стойности на показателите на товаровите графици на ВяЕЦ

Ден	Летен период			Зимен период		
	За деня с най-голямо натоварване	За деня с най-малко натоварване	Средно за периода	За деня с най-голямо натоварване	За деня с най-малко натоварване	Средно за периода
$A$ , kWh	3018	63,6	819	7898,5	282,6	2753
$P_{сд}$ , kW	125,8	2,7	34,1	329,1	11,8	114,7
$P_{м}$ , kW	223,2	26	130,0	500	88,4	292,4
$P_{д}$ , kW	341,2	0,48	–	500	0,48	–
$K_{им}$	0,56	0,10	0,26	0,66	0,13	0,39
$K_{и}$	0,25	0,005	0,07	0,66	0,02	0,23
$K_{т}$	0,45	0,05	0,26	1,00	0,18	0,58
$K_{неРМ}$	–	–	0,12	–	–	0,18
$K_{неРС}$	–	–	0,02	–	–	0,04

От получените резултати, показани в табл. 1 се вижда, че действителният максимален товар е най-висок през зимата и е 500 kW, т.е. имаме интервали през който генератора работи с натоварване равно или близко до номиналното. През лятото действителният максималния товар е 1,47 пъти по-малък в сравнение с този през зимата. Показателно е сравнението на усреднените стойности на максималните товари – през зимата средният максимален товар е 2,24 пъти по-висок от този през лятото. Най-информативен е коефициентът на използване, който нараства от 0,07 през лятото до 0,23 през зимата.

Лесно може да се изчисли какво количество електрическа енергия  $W_{м}$  може да бъде произведено за един месец от ВяЕЦ с мощност 500 kW, ако тя работи непрекъснато с номиналното си натоварване по формулата:

$$W_{м} = T_{мес} \cdot P_{н} = 720 \cdot 500 = 360000 \text{ kWh} , \quad (3)$$

където  $T_{мес}$  е броят часове в един месец.

За летния период коефициентът LDF е:

$$LDF = \frac{W}{P_{м} \cdot T} = \frac{25393}{341,2 \cdot 720} = 0,10 . \quad (4)$$

Полученият резултат показва, че ако генераторът работи непрекъснато с действително получената стойност на максималния товар от 341,2 kW, то той ще работи 74,8 часа, за да произведе месечната енергия за летния период. Ако се приеме, че той работи с мощност равна на номиналната 500 kW, това време ще бъде още по-малко – 51 часа.

За зимния сезон се получава:

$$LDF = \frac{W}{P_{M.T}} = \frac{85342}{500.720} = 0,24 . \quad (5)$$

Използваемостта на максималния товар през зимата нараства 2,4 пъти. Ако генераторът работи непрекъснато с действително получената стойност на максималния товар от 500 kW, то той ще работи 155,9 часа за да произведе месечната енергия за зимния период. Вижда се, че и за летния и за зимния период използваемостта на максималния товар е относително ниска.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разработена е методика за определяне на основните показатели, характеризиращи усреднените денонощни товари графици на ВЯЕЦ с мощност 500 kW. Установено е, че през зимния сезон средно за един месец се получава 3,4 пъти повече електрическа енергия в сравнение с летния сезон. Действителният максимален товар е най-висок през зимата и е равен на номиналната мощност на генератора 500 kW. През зимата средният максимален товар е 2,24 пъти по-висок от този през лятото. Коефициентът на използване намалява от 0,23 през зимата до 0,07 през лятото. Определени са безразмерни коефициенти – коефициент на плътност на товара **LDF** за зимния сезон 0,24 и за летния сезон 0,10.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Айолов, Ив. Особенности при управлението на електроенергийни системи във връзка с присъединяване на вятърни електрически централи. Енергиен форум, 2009, с. 71-94
3. Наредба № 3 за устройство на електрическите уредби и електропроводните линии, София, Балканпрес, 2004, с. 542
2. Петканчин, Л. Статични характеристики “честота-активна мощност” за първично регулиране на вятърни електроцентрали. //Енергетика, 2009, №3, с. 31-35.
3. Петканчин, Л. Поведение на вятърни електроцентрали при нискочестотни колебания на електрическите величини в електроенергийните системи. //Енергетика, 2009, №5, с. 21-24.
4. Русева В., С. Стефанов, Л. Михайлов, Д. Николов, Денонощни товари графици на битови електропотребители, София, Енергетика, 6/7, 2000, с. 14-27.
5. Русева В. Изследване на битовото електропотребление. Дисертация, 2002, с. 163.
6. <http://www.ewea.org/index.php?id=1665>
7. <http://www.iea.org/journalists/publications.asp>

### **За контакти:**

доц. д-р инж. Вяра Русева, катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”, Русенски университет “А. Кънчев”, Тел. 082 888 616; [vruseva@ru.acad.bg](mailto:vruseva@ru.acad.bg)

доц. д-р инж. Стефан П. Стефанов, катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”, Русенски университет “А. Кънчев”, Тел.: 082 888 616, E-mail: [stefanov@ru.acad.bg](mailto:stefanov@ru.acad.bg)

ас. д-р инж. Орлин Петров, катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел. 082 888 301; [opetrov@uni-ruse.bg](mailto:opetrov@uni-ruse.bg)

*Изследванията са подкрепени по договор № BG051PO001-3.3.04/28, „Подкрепа за развитие на научните кадри в областта на инженерните научни изследвания и иновациите”. Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси” 2007-2013, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз“.*