

Моделиране на условията за управление на битовото електропотребление

Кондю Андонов, Огнян Динолов, Анка Кръстева, Константин Коев

Modelling of the conditions for domestic electrical-consumption control: The part of electric energy consumed in the domestic sector in Bulgaria is over 50 %. The question for its efficient use is topical. In this paper, a target function for management of the domestic-appliances electric consumption according to the minimum possible power level is proposed. The particular appliances are individual or separated in eight groups towards their functions and the physical forms of conversion of electrical energy consumed.

Key words: electrical consumption; domestic appliances; models; energy management.

ВЪВЕДЕНИЕ

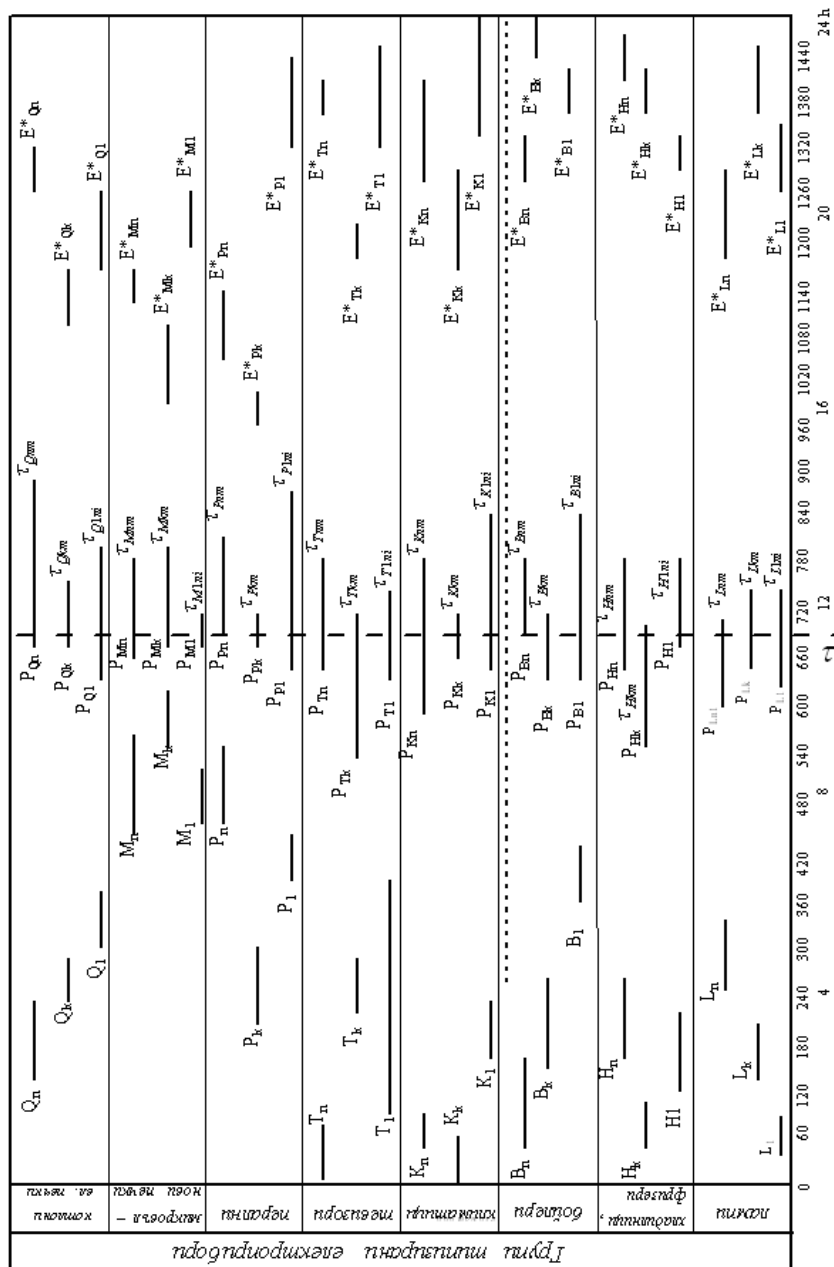
Проучени са изследванията на енергийната ефективност на характерни битови консуматори [1, 2, 6, 7, 8, 9]. Обхванати са котлони, микровълнови печки, задвижвания на перални, хладилници и пр., като са установени нивата на минималния относителен разход на електроенергия при единично [2] и групово включване на котлон с микровълнова печка [3]. Не е проведено изследване за нивата с други групи от консуматори. Предложени са също така електронни системи за управление на електропотреблението на битови и подобни на тях консуматори, в които не е вграден алгоритъм за определяне на минималния възможен относителен разход [4, 5].

Целта на настоящето изследване е извеждането на целева функция като модел за управление на нивата на електропотреблението на групите от битови консуматори спрямо минимално възможния относителен разход.

МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА

Целева функция. Съобразно физическата форма на преобразуване на електрическата енергия консуматорите могат да се обединят в осем групи - лампи, хладилници и фризери, бойлери, климатици, аудио-видео техника, перални, котлони и микровълнови печки. Групите са свързани помежду си чрез денонощия товар в рамките на всеки 24 часа (1440 минути). Съобразно спецификата по отношение на режимите и характера на електропотребление товаровия график се структурира във вида, представен на фиг. 1. В който и да е момент от времето по продължение на денонощието всеки от приборите може да се окаже включен или изключен. Типизираните консуматори могат да встъпват във взаимодействие в произволен ред и при произволен брой спрямо която и да е ос от времето ($t - t$) върху денонощия товаров график (фиг. 1). Условието за оптималност на енергийните разходи е *обобщеният относителен разход* E^*_G за всяка ос от времето да бъде минимален, т.е.

$$E^*_G = \frac{1}{8} \left(\frac{E^*_{L1} \cdot P_{L1} + \dots + E^*_{Lk} \cdot P_{Lk} + \dots + E^*_{Ln} \cdot P_{Ln}}{P_{L1} + \dots + P_{Lk} + \dots + P_{Ln}} + \frac{E^*_{H1} \cdot P_{H1} + \dots + E^*_{Hk} \cdot P_{Hk} + \dots + E^*_{Hn} \cdot P_{Hn}}{P_{H1} + \dots + P_{Hk} + \dots + P_{Hn}} + \right. \\ \left. + \frac{E^*_{B1} \cdot P_{B1} + \dots + E^*_{Bk} \cdot P_{Bk} + \dots + E^*_{Bn} \cdot P_{Bn}}{P_{B1} + \dots + P_{Bk} + \dots + P_{Bn}} + \frac{E^*_{K1} \cdot P_{K1} + \dots + E^*_{Kk} \cdot P_{Kk} + \dots + E^*_{Kn} \cdot P_{Kn}}{P_{K1} + \dots + P_{Kk} + \dots + P_{Kn}} + \right. \\ \left. + \frac{E^*_{T1} \cdot P_{T1} + \dots + E^*_{Tk} \cdot P_{Tk} + \dots + E^*_{Tn} \cdot P_{Tn}}{P_{T1} + \dots + P_{Tk} + \dots + P_{Tn}} + \frac{E^*_{P1} \cdot P_{P1} + \dots + E^*_{Pk} \cdot P_{Pk} + \dots + E^*_{Pn} \cdot P_{Pn}}{P_{P1} + \dots + P_{Pk} + \dots + P_{Pn}} + \right.$$



Фиг.1. Моделен товаров график и разпределение на групите от типизирани консуматори за минимизиране на относителния разход на електроенергия на битови потребители

$$+ \frac{E^*_{M1} \cdot P_{M1} + \dots + E^*_{Mk} \cdot P_{Mk} + \dots + E^*_{Mn} \cdot P_{Mn}}{P_{M1} + \dots + P_{Mk} + \dots + P_{Mn}} + \frac{E^*_{Q1} \cdot P_{Q1} + \dots + E^*_{Qk} \cdot P_{Qk} + \dots + E^*_{Qn} \cdot P_{Qn}}{P_{Q1} + \dots + P_{Qk} + \dots + P_{Qn}} \Rightarrow MIN, (1)$$

където E^*_{Lk} ; E^*_{Hk} ; E^*_{Bk} ; E^*_{Kk} ; E^*_{Tk} ; E^*_{Pk} ; E^*_{Mk} ; E^*_{Qk} са специфичните относителни разходи на електроенергия на приборите, съответно за лампи, хладилници, бойлери, климатици, телевизори, перални, микровълнови печки и котлони, отн.ед.;

P_{Lk} ; P_{Hk} ; P_{Bk} ; P_{Kk} ; P_{Tk} ; P_{Pk} ; P_{Mk} ; P_{Qk} - мощностите, които съответстват на нивата на относителните разходи на електроенергия, kW.

Ограничителни условия. Ограничителните условия се диктуват от спецификата на относителните разходи на електроенергия по отношение на типизираните групи от прибори. Минимумът на целевата функция E^*_G ще се постига ако по всяка ос от времето всеки от приборите работи при минимално възможния относителен разход.

Възможните комбинации, ограничителни нива и минимумите на относителните разходи на електроенергия по прибори са както следва.

Лампи. Броят им може да бъде от 1 до n. Приведеният специфичен разход на електроенергия ще се изрази чрез зависимостите:

- *индивидуален специфичен разход.* Формира се като реципрочна стойност на светлинния добив на лампите, или:

$$E^*_{Lk} = \frac{1}{\eta_{Lk}}, W/lm; (2)$$

$$\eta_{Lk} = \frac{\Phi_{Lk}}{P_{Lk}}, lm/W; (3)$$

където E_{Lk} е специфичният разход на електроенергия по светопроизводство за дадения тип лампи, W/lm;

η_{lk} - светлинният добив на дадения тип лампи, lm/W;

Φ_{Lk} - светлинният поток, излъчван от дадения тип лампи, lm;

P_{LK} - мощността на дадения тип лампи, W.

- *индивидуален относителен специфичен разход.* Чрез него се оценя нивото на намаляване разхода на електроенергия при замяна на лампите с лампи с възможно най-висок светлинен добив:

$$\Delta E^*_{Lk} = \frac{\eta_{Lk}}{\eta_{\max}}, отн.ед., (4)$$

където $\eta_{L\max}$ е най-високият светлинен добив на предлаганата към момента лампа на пазара, lm/W.

Ограничителното условие е:

$$E^*_{L1} = E^*_{LMAX}; \dots; E^*_{Lk} = E^*_{LMAX}; \dots; E^*_{Ln} = E^*_{LMAX}; \quad E^*_{LMAX} = \frac{1}{\eta_{\min}}, W/lm, (5)$$

където $\eta_{L \min}$ е най-ниският светлинен добив на предлаганата към момента лампа на пазара, lm/W .

Хладилници и фризери. Относителният разход на електроенергия е зависим от температурата на настройка на терморегулатора, количеството внесени, внасяни и изнасяни продукти, и времето на задържане на вратите отворени. В общия случай ограничителното условие е:

$$E^*_{H1} = \begin{cases} E^*_{H1 \min} + \Delta H_{1 \min} \\ E^*_{H1 \min} + \Delta H_{1 \max} \end{cases} \dots; E^*_{Hk} = \begin{cases} E^*_{Hk \min} + \Delta H_{k \min} \\ E^*_{Hk \min} + \Delta H_{k \max} \end{cases} \dots; \\ E^*_{Hn} = \begin{cases} E^*_{Hn \min} + \Delta H_{n \min} \\ E^*_{Hn \min} + \Delta H_{n \max} \end{cases}, \text{отн.ед.}, \quad (6)$$

където $E^*_{H1 \min}; \dots; E^*_{Hk \min}; \dots; E^*_{Hn \min}$ са минималните относителни разходи на електроенергия на всеки от приборите, отн.ед.;

$E^*_{H1}; \dots; E^*_{Hk}; \dots; E^*_{Hn}$ - действителните относителни разходи на електроенергия на всеки от приборите, отн.ед.;

$\Delta H_{1 \min}; \dots; \Delta H_{k \min}; \dots; \Delta H_{n \min}$ и $\Delta H_{1 \max}; \dots; \Delta H_{k \max}; \dots; \Delta H_{n \max}$ - съответно, минималните и максималните отклонения на действителните относителни разходи на електроенергия спрямо минимално възможните за всеки от приборите, отн.ед.

Бойлери. Относителният разход на електроенергия е зависим от температурата на настройка на терморегулатора, дебита на черпената, респективно подавана вода. В общия случай ограничителното условие е:

$$E^*_{B1} = \begin{cases} E^*_{B1 \min} + \Delta B_{1 \min} \\ E^*_{B1 \min} + \Delta B_{1 \max} \end{cases} \dots; E^*_{Bk} = \begin{cases} E^*_{Bk \min} + \Delta B_{k \min} \\ E^*_{Bk \min} + \Delta B_{k \max} \end{cases} \dots; \\ E^*_{Bn} = \begin{cases} E^*_{Bn \min} + \Delta B_{n \min} \\ E^*_{Bn \min} + \Delta B_{n \max} \end{cases}, \text{отн.ед.}, \quad (7)$$

където $E^*_{B1 \min}; \dots; E^*_{Bk \min}; \dots; E^*_{Bn \min}$ са минималните относителни разходи на електроенергия на всеки от приборите, отн.ед.;

$E^*_{B1}; \dots; E^*_{Bk}; \dots; E^*_{Bn}$ - действителните относителни разходи на електроенергия на всеки от приборите, вариращи в съответния диапазон, отн.ед.;

$\Delta B_{1 \min}; \dots; \Delta B_{k \min}; \dots; \Delta B_{n \min}$ и $\Delta B_{1 \max}; \dots; \Delta B_{k \max}; \dots; \Delta B_{n \max}$ - съответно, минималните и максималните отклонения на действителните относителни разходи на електроенергия спрямо минимално възможните за всеки от приборите, отн.ед.

Климатизи. Относителният разход на електроенергия е зависим от температурата на настройка на терморегулатора, топлофизическите характеристики на помещението и атмосферната температура. В общия случай ограничителното условие е:

$$E^*_{K1} = \begin{cases} E^*_{K1 \min} + \Delta K_{1 \min} \\ E^*_{K1 \min} + \Delta K_{1 \max} \end{cases} \dots; E^*_{Kk} = \begin{cases} E^*_{Kk \min} + \Delta K_{k \min} \\ E^*_{Kk \min} + \Delta K_{k \max} \end{cases} \dots; \\ E^*_{Kn} = \begin{cases} E^*_{Kn \min} + \Delta K_{n \min} \\ E^*_{Kn \min} + \Delta K_{n \max} \end{cases}, \text{отн.ед.}, \quad (8)$$

където $E^*_{K1 \min}; \dots; E^*_{Kk \min}; \dots; E^*_{Kn \min}$ са минималните относителни разходи на електроенергия на всеки от приборите, отн.ед.;

$E^*_{K1}; \dots; E^*_{Kk}; \dots; E^*_{Kn}$ - действителните относителни разходи на електроенергия на всеки от приборите, вариращи в съответния диапазон, отн.ед.;

$\Delta K_{1 \min}; \dots; \Delta K_{k \min}; \dots; \Delta K_{n \min}$ и $\Delta K_{1 \max}; \dots; \Delta K_{k \max}; \dots; \Delta K_{n \max}$ - съответно, минималните и максималните отклонения на действителните относителни разходи на електроенергия спрямо минимално възможните за всеки от приборите, отн.ед.

Аудио-видео техника. Приборите работят при установен режим, поради което относителният разход на електроенергия за всеки от тях се приема за единица, като ограничителното условие е:

$$E^*_{T1} = 1; \dots; E^*_{Tk} = 1; \dots; E^*_{Tn} = 1, \text{отн.ед.} \quad (9)$$

Перални. Относителният разход на електроенергия е зависим от работните характеристики на електрозадвижването, мощността на нагревателните елементи и натоварването на пералнята. В общия случай ограничителното условие е:

$$E^*_{P1} = \begin{cases} E^*_{P1 \min} + \Delta P_{1 \min} \\ E^*_{P1 \min} + \Delta P_{1 \max} \end{cases} \dots; E^*_{Pk} = \begin{cases} E^*_{Pk \min} + \Delta P_{k \min} \\ E^*_{Pk \min} + \Delta P_{k \max} \end{cases} \dots; \\ E^*_{Pn} = \begin{cases} E^*_{Pn \min} + \Delta P_{n \min} \\ E^*_{Pn \min} + \Delta P_{n \max} \end{cases}, \text{отн.ед.}, \quad (10)$$

където $E^*_{P1 \min}; \dots; E^*_{Pk \min}; \dots; E^*_{Pn \min}$ са минималните относителни разходи на електроенергия на всеки от приборите, отн.ед.;

$E^*_{P1}; \dots; E^*_{Pk}; \dots; E^*_{Pn}$ - действителните относителни разходи на електроенергия на всеки от приборите, вариращи в съответен диапазон, отн.ед.;

$\Delta P_{1 \min}; \dots; \Delta P_{k \min}; \dots; \Delta P_{n \min}$ и $\Delta P_{1 \max}; \dots; \Delta P_{k \max}; \dots; \Delta P_{n \max}$ - съответно, минималните и максималните отклонения на действителните относителни разходи на електроенергия спрямо минимално възможните за всеки от приборите, отн.ед.

Микровълнови печки. Относителният разход на електроенергия е зависим от диелектричната константа и количеството на загревания продукт. В общия случай ограничителното условие е:

$$E^*_{M1} = \begin{cases} E^*_{M1 \min} + \Delta M_{1 \min} \\ E^*_{M1 \min} + \Delta M_{1 \max} \end{cases} \dots; E^*_{Mk} = \begin{cases} E^*_{Mk \min} + \Delta M_{k \min} \\ E^*_{Mk \min} + \Delta M_{k \max} \end{cases} \dots;$$

$$E^*_{Mn} = \begin{cases} E^*_{Mn \min} + \Delta M_{n \min} \\ E^*_{Mn \min} + \Delta M_{n \max} \end{cases}, \text{отн.ед.}, \quad (11)$$

където $E^*_{M1 \min}; \dots; E^*_{Mk \min}; \dots; E^*_{Mn \min}$ са минималните относителни разходи на електроенергия на всеки от приборите, отн.ед.;

$E^*_{M1}; \dots; E^*_{Mk}; \dots; E^*_{Mn}$ - действителните относителни разходи на електроенергия на всеки от приборите, вариращи в съответния диапазон, отн.ед.;

$\Delta M_{1 \min}; \dots; \Delta M_{k \min}; \dots; \Delta M_{n \min}$ и $\Delta M_{1 \max}; \dots; \Delta M_{k \max}; \dots; \Delta M_{n \max}$ - съответно, минималните и максималните отклонения на действителните относителни разходи на електроенергия спрямо минимално възможните за всеки от приборите, отн.ед.

Котлони. Относителният разход на електроенергия е зависим от топлинния капацитет и количеството на загрявания продукт. В общия случай ограничителното условие е:

$$E^*_{Q1} = \begin{cases} E^*_{Q1 \min} + \Delta Q_{1 \min} \\ E^*_{Q1 \min} + \Delta Q_{1 \max} \end{cases} \dots; E^*_{Qk} = \begin{cases} E^*_{Qk \min} + \Delta Q_{k \min} \\ E^*_{Qk \min} + \Delta Q_{k \max} \end{cases} \dots;$$

$$E^*_{Qn} = \begin{cases} E^*_{Qn \min} + \Delta Q_{n \min} \\ E^*_{Qn \min} + \Delta Q_{n \max} \end{cases}, \text{отн.ед.}, \quad (12)$$

където $E^*_{Q1 \min}; \dots; E^*_{Qk \min}; \dots; E^*_{Qn \min}$ са минималните относителни разходи на електроенергия на всеки от приборите, отн.ед.;

$E^*_{Q1}; \dots; E^*_{Qk}; \dots; E^*_{Qn}$ - действителните относителни разходи на електроенергия на всеки от приборите, вариращи в съответен диапазон, отн.ед.;

$\Delta Q_{1 \min}; \dots; \Delta Q_{k \min}; \dots; \Delta Q_{n \min}$ и $\Delta Q_{1 \max}; \dots; \Delta Q_{k \max}; \dots; \Delta Q_{n \max}$ - съответно, минималните и максималните отклонения на действителните относителни разходи на електроенергия спрямо минимално възможните за всеки от приборите, отн.ед.

Стойностите за минималните относителни разходи, както и за нивото и границите на вариране на текущите относителни разходи за всеки от приборите се установяват или експериментално или по данни от изпитанията на фирмите-производители.

ИЗВОДИ

1. Моделирането на денонощния товаров график на битовото електропотребление позволява върху него да се въвеждат и възпроизвеждат режимите на консуматорите с точност до минути по групи според предназначение им, вероятностно-статистическите им показатели и построяването на целева функция за оптимизиране на електропотреблението на групите спрямо всеки момент от оста на времето от 0 до 24 часа.

2. Целевата функция и ограничителните условия за управление и оптимизиране на електропотреблението се построяват върху действителния и оптималния специфичен разход на електроенергия и могат да се отнасят за единични и групирани, или цялото множество от консуматори и процеси спрямо всеки момент от оста на времето от 0 до 24 часа, с възможност за непрекъсната актуализация на информацията.

3. Използването на моделите за изграждането на действащи системи за управление на битовото електропотребление е предпоставката същото да се постави на нова, концептуално различна от настоящата основа и за осигуряването на контрол върху доминиращата част от консумираната в страната електроенергия.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Андонов К., Б. Ботев, А. Кръстева. Обследване за енергийна ефективност на нагревателни електроуреди. - Селскостопанска техника, № 4, 2005, с. 29 - 33.

[2] Ботев Б. Изследване енергийната ефективност на битова техника. ЕЕ&АЕ, Русе, 03-05.06, 2004, с. 731-735.

[3] Ботев Б., К. Андонов. Изследване на показатели на енергийната ефективност на битови консуматори. Русе, 01-02.10, 2004.

[4] Евстатиева Н. Изследване на модел за електронна система, управляваща процеса сушене в разпръсквателна сушилня. – Сборник с доклади на Енергиен форум 17 – 20 Юни 2009, Варна, с. 419 – 422.

[5] Проспектни материали на фирма “Сименс”. Система за мониторинг на битовото потребление GAMA, 2008.

[6] Jung D., C. Kim, K. Song, B. Park. Testing of propane / isobutane mixture in domestic refrigerators - International Journal of Refrigeration, № 23, 2000, pp. 517 – 527.

[7] Mahlia T., H. Masjuki, R. Saidur, M. Amalina. Cost-benefit analysis of implementing minimum energy efficiency standards for household refrigerator-freezers in Malaysia. - Energy Policy, № 32, 2004, pp. 1819 – 1824.

[8] Sekhar J., D. Lal, S. Renganarayanan. Improved energy efficiency for CFC domestic refrigerators retrofitted with ozone-friendly HFC134a/HC refrigerant mixture. - International Journal of Thermal Sciences, № 43, 2004, pp. 307 – 314.

[9] Shaughnessy B., M. Newborough. Energy performance of a low-emissivity electrically heated oven. - Applied Thermal Engineering, № 20, 2000, pp. 813 – 830.

За контакти:

Проф. д-тн Кондю Андонов, Катедра “ЕСЕО”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 082 888 302, E-mail: kandonov@ru.acad.bg.

ас. д-р инж. Огнян Динолов, Катедра “ЕСЕО”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 082 888 202 (330), E-mail: dinollov@gmail.com.

Докладът е рецензиран.