

УДК 621.31

ДЕНИСЮК С. П., ОПРИШКО В. П.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОБОВОГО ГРАФІКУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета. Дослідити можливості застосування програм з керування попиту на електричну енергію в електроенергетичних системах в умовах українських реалій. Розробити математичну модель оптимізації режиму електроспоживання на основі ключових показників оцінки графіку електроспоживання та коефіцієнтів гнучкості обладнання.

Методика. Доведено, що в результаті впровадження програм з керування попиту на електричну енергію вигоду отримують не лише споживачі та енергетичні компанії, але й суспільство в цілому. Класифіковано програми з керування попиту на електричну енергію за сферою дії. В статті розглянуто метод оптимізації добового графіка електроспоживання при впровадженні програм з керування попиту на електричну енергію.

Результати. Проаналізовано ефекти від впровадження програм з керування попиту та сформовано оптимізаційні задачі зменшення нерівномірності графіка споживання на основі коефіцієнта заповнення графіка та зменшення витрат на електричну енергію. Проведені дослідження варіантів впливу програм з керування попиту на можливості видозміни добового графіка споживання електричної енергії підтверджують наявність можливості підвищення ефективності функціонування електроенергетичних систем.

Наукова новизна. Отримані оптимізовані графіки електроспоживання на основі ключових показників для групи однотипних споживачів з врахуванням інтересів споживача, що дає змогу оцінити ефект від впровадження програм з керування попиту на електричну енергію. Особливості споживачів враховані коефіцієнтом гнучкості їх попиту k_p .

Практична значимість. Отриманий алгоритм оцінки можливості впровадження інноваційних програм керування попитом для оптимізації режимів електроспоживання. Встановлено, що побутові споживачі електричної енергії мають значний потенціал зниження пікового споживання шляхом використання програм з керування попиту на електричну енергію, спрямованих на зменшення витрат для споживачів та збільшення коефіцієнта заповнення для енергетичних компаній.

Ключові слова: Smart Grid, електропостачання, енергоефективність, керування попитом, DSM, нерівномірність добового графіка.

Вступ. Незважаючи на істотні відмінності у виробничо-організаційній структурі енергетики різних країн, методах контролю діяльності електропостачальних компаній та ціноутворення, механізми функціонування енергетичних систем мусять забезпечувати відповідний обсяг генерувальних потужностей на основі очікуваного споживчого попиту і режимних вимог до рівня резерву з впровадженням ринкового механізму ціноутворення для підтримання балансу та зниження втрат. Менеджмент попиту на енергію *energy demand management*, також відомий як керування попитом на енергію *demand-side management* (DSM) або реакція на попит *demand response* (DR) [1] спрямований на зміну попиту споживачів енергії шляхом використання різних методів, наприклад, фінансових стимулів чи ініціатив з енергоефективності [2].

Постановка завдання. Численні науково-дослідні роботи, експериментальні та пілотні проекти у провідних країнах світу виявили, що економічно ефективні програми керування попитом дають можливість знизити споживання електроенергії та піковий попит приблизно до 20% без використання централізованого контролю [3, 4, 5]. На сьогодні в

Україні відсутні діючі програми з керування попиту на електричну енергію. З метою поширення кращих світових практик залучення DSM в політику енергоефективності проаналізовано можливий ефект від впровадження таких програм на основі максимізації коефіцієнта заповнення графіка – як показника зменшення втрат та мінімізації витрат споживача – як показника зацікавленості.

Результати дослідження. В сучасних умовах конкуренції на лібералізованих ринках електроенергії розвинутих країн світу, в тому числі і України, споживач отримує право вільного вибору постачальника електроенергії, що сприяє посиленню конкуренції за надання кращих послуг та активізації впровадження інноваційних технологій.

В електроенергетичних системах DR відноситься, в основному, до тимчасового зниження обсягів електроспоживання, середня тривалість заходів складає 1–4 год та є відповіддю на цінові сигнали ринку електричної енергії чи оператора електричної мережі. Ефект від застосування вимірюється в кВт спожитої потужності (також відноситься до зменшення пікового споживання кВт·год) та зменшенні витрат [6, 7].

На відміну від DR, програми, пов'язані з DSM, спрямовані на довгострокову перспективу функціонування, і включають зменшення загального рівня енергоспоживання шляхом впровадження заходів з підвищення енергоефективності та енергозбереження. Ефект від застосування вимірюється в кВт·год. (також застосовується для оцінки зменшення пікового споживання в кВт) [9].

Результатом впровадження програм DSM вигоду отримують не лише домогосподарства, підприємства та комунальні структури, але й суспільство в цілому. За сферою дії програми DSM можна поділити на регіональні програми, локальні програми, програми для промислового району та одиничні програми які можуть впроваджуватись безпосередньо на підприємствах в рамках існуючих систем енергетичного менеджменту та планування енергоспоживання.

В табл. 1 наведені основні очікувані результати впровадження програм DSM для різних сфер: економічний ефект від впровадження, стимулювання ринкових перетворень та зростання конкурентоспроможності учасників програм, підвищення енергобезпеки, зменшення негативного впливу діяльності енергетичних систем та комплексів на навколишнє середовище.

Таблиця 1

Основні очікувані результати впровадження програм DSM

| Сфера дії / рівень дії | Регіональний | Локальний | Промисловий район | Підприємство/ об'єднання | Технологія/ дільниця |
|------------------------|--|--|---|--|---|
| Економічний ефект | Стимулювання економічного розвитку регіону | Стимулювання економічного розвитку на районному рівні | Стимулювання економічного розвитку на місцевому рівні | Зменшення рахунків за спожиту електроенергію | Скорочення витрат на технічне обслуговування |
| Ринкові перетворення | Стимулювання ринкових перетворень | Збільшення конкурентоспроможності місцевих підприємств | Підвищення кредитної привабливості | Стимулювання до управління режимами роботи | Скорочення витрат на заміну устаткування |
| Матеріальний ефект | Створювання довгострокових робочих місць | Зниження потреб в будівництві нових великих об'єктів. | Підвищення привабливості РГ та НВДЕ | Додаткові джерела отримання прибутку | Можливості для впровадження нових систем управління |

Продовження таблиці 1

| | | | | | |
|---------------------|---|---|--|--|---------------------------|
| Екологічні переваги | Скорочення викидів національних та міжнародних екологічних проблеми | Зниження забруднення повітря на районному рівні | Підвищення комфорту на місцевому рівні | Створення сприятливих умов праці | Нормалізація мікроклімату |
| Енергобезпека | Підсилення національної безпеки шляхом ослаблення залежності від зовнішніх джерел енергії | Підвищення якості та надійності електрозабезпечення | Зростання кількості джерел РГ та ВДЕ | Зниження ризиків пов'язаних з аварійним відключенням | Загальне зменшення витрат |

Очевидно, що при впровадженні механізмів DSM необхідним є проведення оцінювання ефективності керування попитом, яке зазвичай виконується за такими показниками як:

- коефіцієнт заповнення графіка навантаження k_3 ;
- сумарна вартість спожитої електричної енергії C_e .

Необхідно застосовувати два критерії, що представлені у вигляді цільових функцій (ЦФ) [10]. Перша ЦФ відповідає максимізації коефіцієнту заповнення графіка навантаження k_3 :

$$\text{Max } k_3 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J P_{(i,j)} t_j}{\sum_{j=1}^J t_j \sum_{j=1}^J P_{(i,j)}} \quad (1)$$

де оптимізаційними змінними вибрані значення споживаної потужності $P_{(i,j)}$ на інтервалі часу t_j (зазвичай часовий інтервал приймає значення 1-2 години) по групам споживачів i . Чисельник цільової функції представляє собою кількість спожитої електричної енергії. ЦФ є лінійною відносно оптимізаційних змінних. Розмірність задачі складає $N \times J$, де N – кількість груп споживачів а J – кількість інтервалів часу [9].

Друга ЦФ відповідає мінімізації витрат коштів на електричну енергію C_e :

$$\text{Min } C_e = \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J P_{(i,j)} \cdot t_{(j)} \cdot ce_{(i,j)} \right] + \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J P_{(i,j)} \cdot t_{(j)} \cdot cd_{(i,j)} \right], \quad (2)$$

де ЦФ за критерієм ce також є лінійною і представляє собою мінімізацію витрат коштів на спожиту електричну енергію. Оптимізаційними змінними вибрані: значення споживаної потужності $P_{(i,j)}$ на інтервалі часу t_j по групах споживачів i , тариф на електричну енергію ce , плата за встановлену потужність cd . Перший доданок представляє собою плату за обсяг спожитої енергії, другий доданок представляє плату за встановлену потужність.

Оптимізовані графіки добового споживання електричної енергії будуються з врахуванням обмежень:

$$P_{new}(i) = P_{old}(i) \forall t_o \rightarrow t_k, t_h \rightarrow T_D, \quad (3)$$

тобто загальний обсяг спожитої потужності P на інтервалі часу $(t_o; T_D)$ залишається незмінним та на кожному інтервалі має відповідати обмеженням:

$$P_{new}(i) \leq P_{(value1)} \forall t_k \rightarrow t_h, \quad (4)$$

$$P_{new}(i) \geq P_{(value2)} \forall t_k \rightarrow t_h, \quad (5)$$

проте пікове споживання з інтервалу часу $(t_k; t_h)$ рівномірно переноситься на інтервали часу $(t_o; t_k) \cup (t_h; T_D)$.

$$P_{(value2)} \leq P_{(value1)}, \quad (6)$$

де обмеження задачі стосуються необхідності збереження сумарної за розрахунковий період спожитої потужності: $P_{new}(i) = P_{old}(i)$, обмеження допустимих величин максимальної споживаної потужності: $P_{new}(i) < P_{max}$, що впливають з граничних можливостей мережі та електроенергетичної системи, як наприклад, обмежена потужність генеруючого устаткування локальних електроенергетичних систем, обмеження на пропускну здатність розподільної мережі, трансформаторів, тощо.

Наведене формулювання оптимізаційної задачі є дещо спрощеним і не враховує можливості споживача змінювати профілі споживання в автоматичному режимі для різних типів устаткування. Як приклад, споживачу групи домогосподарства набагато простіше змінити профіль споживання посудомийної машини ніж системи освітлення. Для врахування можливості споживачів змінювати рівень споживання власного обладнання, необхідно ввести третій критерій і сформулювати відповідну оптимізаційну задачу, яка характеризуватиме собою мінімізацію ступеня нерівномірності початкового графіка навантаження після застосування програм DSM – $\min F_{граф}$.

Особливості споживачів враховані коефіцієнтом гнучкості їх попиту $k_r \in (0;1]$, що може приймати значення від 0 до 1, де значення 0 відповідає найменшій гнучкості обладнання, 1 – максимальній гнучкості, тобто готовності споживача змінювати профіль споживання конкретного обладнання шляхом перенесення споживання на інші часові інтервали.

Нелінійна багатокритеріальна оптимізаційна задача для ЦФ $F_{граф}$:

$$\min F_{граф} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T (P_{new}(i) - P_{old}(i))^2 \cdot \frac{1}{k_r(i)} \quad (7)$$

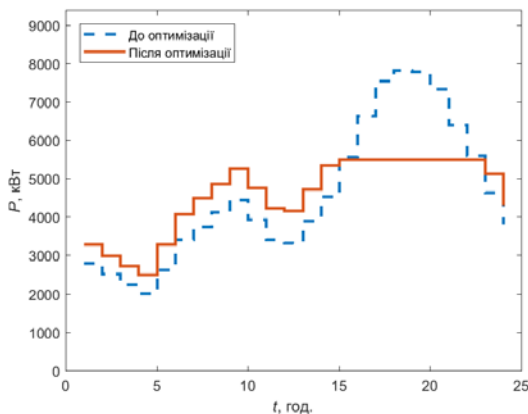
$$\min y = \begin{cases} C(P_{new}) \rightarrow \min \\ Cur(P_{new}) \rightarrow \min \\ E_{new} = E_{old} \\ P_{new}(i) \leq P_{max} \end{cases} \quad (8)$$

де $Cur(P_{new})$ – мінімізація нерівномірності форми графіка, $C(P_{new})$ – мінімізація витрат на спожиту електроенергію, при збереженні балансу енергій $E_{new} = E_{old}$ та з врахуванням обмеження на максимально можливу потужність $P_{new}(i) \leq P_{max}$.

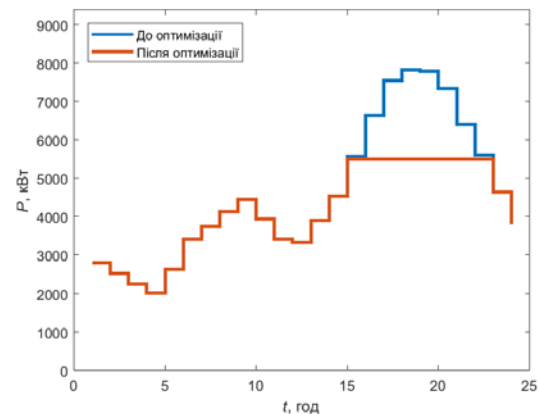
Пропонується окремо розглядати пари критеріїв, що відповідають цілям споживача та електропостачальної організації:

- 1) коефіцієнт завантаження та коефіцієнт нерівномірності графіка споживання;
- 2) зменшення вартості спожитої електроенергії та коефіцієнта нерівномірності графіка споживання.

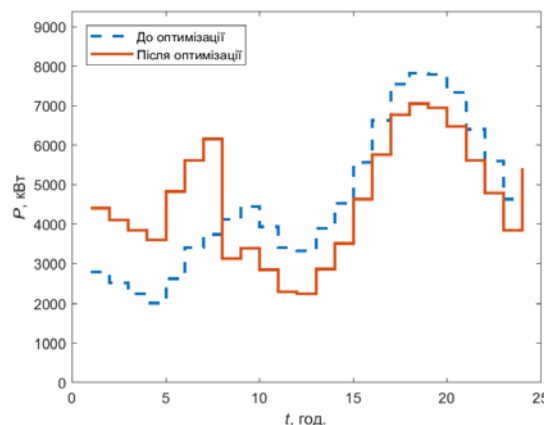
Для ілюстрації роботи результатів роботи оптимізаційної моделі вибрана група з однієї тисячі побутових домогосподарств, в яких вибрано основне обладнання у складі: пральні та посудомийні машини, опалення та кондиціонування, холодильники, освітлення, обладнання для приготування їжі та системи мультимедіа. Надалі розглядаються усереднені значення потужностей для типових устаткувань даного класу. Результати моделювання для групи споживачів «Домогосподарства» представлено на рис. 1. Необхідно зазначити, що в якості критерію зменшення витрат на спожиту електричну енергію вибраний діючий двозонний тариф, а коефіцієнти гнучкості обладнання обирались з власного досвіду низки експертів щодо користування побутовими приладами. Моделювання проводилось в програмному комплексі MatLab.



1.а Максимізація коефіцієнта заповнення зі збереження балансу



1.б Максимізація коефіцієнта заповнення без збереження балансу



1.в Мінімізація витрат зі збереження балансу спожитої електроенергії

Рис. 1. Результати моделювання

За результатами моделювання отримані оптимізовані криві графіків споживання для трьох варіантів: рис. 1а – максимізація коефіцієнта заповнення зі збереженням балансу спожитої потужності, рис. 1б – максимізація коефіцієнта заповнення без збереження балансу, тобто теоретично можливе відключення приладів у години пікового споживання, рис. 1в – мінімізація витрат зі збереженням балансу спожитої електроенергії, де з врахуванням діючих тарифів та коефіцієнта гнучкості споживання в період 7:00 – 23:00 годин переноситься на нічну зону. Пропонується розглядати варіанти максимізації коефіцієнта заповнення з незмінним балансом спожитої електричної енергії та мінімізації витрат зі збереженням балансу спожитої електроенергії як такі, що можуть бути досягнуті при впровадженні програм з керування попиту. В табл. 2 наведені числові значення отриманих ЦФ по витраті коштів та коефіцієнта заповнення графіка до та після оптимізації, також наведена зміна величини їх числових значень.

Таблиця 2

Отримані результати

| Значення цільової функції | До оптимізації | Після оптимізації | Зміна показника, % |
|--|----------------|-------------------|--------------------|
| Витрати коштів C_e тис. грн | 189,6 | 174,8 | 7,8 |
| Коефіцієнт заповнення k_3 відносні одиниці | 0,587 | 0,835 | 29,63 |

Для оцінки результатів оптимізації, пропонується використати не лише показники C_e та k_3 , а також показник зменшення рівня втрат, на основі величини реактивної потужності Фризе Q_ϕ для миттєвих значень $Q_\phi^2 = S^2 - P^2$ [10], поширеної на добовий інтервал часу [8]. При цьому, розрахунок може бути спрощений при умові повністю активного споживання $\cos\phi = 1$ та розрахунку втрати напруги як:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P \cdot R - Q \cdot X}{10U_n^2} = \frac{P \cdot R}{10U_n^2}; \quad (10)$$

Розрахункове значення показника для інтервалу часу розраховується як:

$$Q_{\phi,24}^2 = \left(U_0^2 + \sum_{j=1}^n \Delta U_j^2 \delta_j \right) \left(I_0^2 + \sum_{j=1}^n \Delta I_j^2 \delta_j \right) - U_0^2 I_0^2 \quad (11)$$

Зміна числових значень розрахункового показника $Q_{\phi,24}$ для добового інтервалу наведена в табл. 3.

Таблиця 3

Результати зміни показника $Q_{\phi,24}$

| Зміна $Q_{\phi,24}$ при оптимізації за критеріями: | $Q_{\phi,24}$ (кВАр) до оптимізації | $Q_{\phi,24}$ (кВАр) після оптимізації | ΔQ_ϕ (%) |
|--|-------------------------------------|--|---------------------|
| Витрати коштів, C_e | 1817,2 | 1412,9 | 22,25 |
| Коефіцієнт заповнення, k_3 | 1817,2 | 980,2 | 46,1 |

Висновки:

1. Проведені дослідження варіантів впливу програм з керування попиту на можливості видозміни добового графіка споживання електричної енергії підтверджують

наявність можливості підвищення ефективності функціонування електроенергетичних систем.

2. Класифіковано очікуванні ефекти від впровадження програм з керування попиту у відповідності до сфери дії програм та рівню їх впровадження.

3. Встановлено, що побутові споживачі електричної енергії мають значний потенціал зниження пікового споживання шляхом використання програм з керування попиту на електричну енергію, спрямованих на зменшення витрат для споживачів та збільшення коефіцієнта заповнення для енергетичних компаній. Результатом оптимізації споживання стала економія 8% витрат на електричну енергію, що становить 5,4 млн. грн. на рік.

4. Розроблені моделі споживання для побутових споживачів можуть бути перенесені на промислових споживачів за умови врахування реактивної складової споживання $\cos\phi \neq 1$.

5. Перспективи дослідження стосуються розширення можливостей застосування потужності Фризе Q_{ϕ} як показника впливу нерівномірності споживання електричної енергії на рівень втрат.

***Публікація містить результати досліджень, проведених за грантом Президента України за конкурсним проектом (Ф75/223-2018) Державного фонду фундаментальних досліджень.**

Література

1. *Government of United Kingdom*. "Electricity system flexibility". Ofgem. 7 September 2016.
2. *Chiu, Wei-Yu; Sun, Hongjian; Poor, H. Vincent*. "Energy Imbalance Management Using a Robust Pricing Scheme". *IEEE Transactions on Smart Grid*. 4 (2): 896904, 2013 doi:10.1109/TSG.2012.2216554
3. *W.-Y. Chiu, H. Sun, H. Vincent*, "Energy Imbalance Management Using a Robust Pricing Scheme". *IEEE Transactions on Smart Grid*. 4 (2): 896904, 2013.
4. *C. W. Gellings*, Deciding which demand-side management activity to pursue. Efficient use and conservation of energy. EOLSS, 2015.
5. *Masood Parvania, Roohallah Khatami*, "Continuous-time marginal pricing," of electricity Power & Energy society general meeting, 2017 IEEE, Chicago, IL, USA, 16-20 July 2017.
6. *Konstantelos I. Giannelos S.Strbac G.*, Strategic Valuation of Smart Grid Technology Options in Distribution Networks. *IEEE Transactions on Power Systems* 32 (2), 2017
7. *Денисюк С.П.* Дослідження програм з керування попиту на електроенергію та аналіз ефективності їх використання [Текст] / С.П. Денисюк, В.П. Опришко // *Technology Audit & Production Reserves*. – 2016. – Том 3 (29) – С. 69 – 73. – ISSN 2226-3780
8. *Опришко В.П.* Регулювання режимів електропостачання в локальних системах microgrid [Текст] / В.П. Опришко // *Техн.*

References

1. *Government of United Kingdom*. "Electricity system flexibility". Ofgem. 7 September 2016.
2. *Chiu, Wei-Yu; Sun, Hongjian; Poor, H. Vincent*. "Energy Imbalance Management Using a Robust Pricing Scheme". *IEEE Transactions on Smart Grid*. 4 (2): 896904, 2013 doi:10.1109/TSG.2012.2216554
3. *Chiu W.-Y., Sun H., Vincent H.*, "Energy Imbalance Management Using a Robust Pricing Scheme". *IEEE Transactions on Smart Grid*. 4 (2): 896904, 2013.
4. *Gellings C. W.*, Deciding which demand-side management activity to pursue. Efficient use and conservation of energy. EOLSS, 2015.
5. *Masood Parvania, Roohallah Khatami*, "Continuous-time marginal pricing," of electricity Power & Energy society general meeting, 2017 IEEE, Chicago, IL, USA, 16-20 July 2017.
6. *Konstantelos I. Giannelos S.Strbac G.*, Strategic Valuation of Smart Grid Technology Options in Distribution Networks. *IEEE Transactions on Power Systems* 32 (2), 2017.
7. *Denysiuk S. P.* Doslidzhennia prohram z keruvannia popytu na elektroenerhiu ta analiz efektyvnosti yikh vykorystannia [Tekst] / S.P. Denysiuk, V.P. Opryshko // *Technology Audit & Production Reserves*. – 2016. – tom 3 (29) – p. 69 – 73. – ISSN 2226-3780
8. *Opryshko V. P.* Rehulivuvannia rezhymiv elektropostachannia v lokalnykh systemakh microgrid [Tekst] / V.P. Opryshko // *Tekhn.*

електродинаміка. – 2016. – № 4. – С. 77–79. – ISSN 1607-7970.

9. Attia HA. Mathematical formulation of the demand side management (DSM) problem and its optimal solution. In: 14th int middle east power syst conf; 2010. p. 953–959.

10. Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами. – К.: Текст, 2010. – 264 с.

elektrodynamika. – 2016. – № 4. – p. 77–79. – ISSN 1607-7970.

9. Attia HA. Mathematical formulation of the demand side management (DSM) problem and its optimal solution. In: 14th int middle east power syst conf; 2010. p. 953–959.

10. Zhuikov V.I., Denysiuk S.P. Enerhetychni protsesy v elektrychnykh kolakh z kliuchovymy elementamy. – K.: Tekst, 2010. – 264 p.

DENYSIUK S.

spdens@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6299-3680>

Researcher ID: C-2707-2019

Institute of energy sawings and management, Power supply department

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute»

OPRYSHKO V.

opryshk@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4963-2490>

Researcher ID: I-3724-2018

Institute of energy sawings and management, Power supply department

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute»

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ СУТОЧНОГО ГРАФИКА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЕНИСЮК С. П., ОПРЫШКО В. П.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Цель. Исследовать возможности применения программ по управлению спросом на электрическую энергию в украинских реалиях. Разработать математическую модель оптимизации режима электропотребления на основе ключевых показателей оценки графика электропотребления и коэффициентов гибкости оборудования.

Методика. Доказано, что в результате внедрения программ по управлению спросом на электрическую энергию выгоду получают не только потребители и энергетические компании, но и общество в целом. Классифицированы программы по управлению спросом на электрическую энергию по сфере действия. В статье рассмотрен метод оптимизации суточного графика электропотребления при внедрении программ по управлению спросом на электрическую энергию.

Результаты. Проанализированы эффекты внедрения программ по управлению спросом и сформированы оптимизационные задачи уменьшения неравномерности графика потребления на основе коэффициента заполнения графика и уменьшения затрат на электрическую энергию.

Научная новизна. Полученные оптимизированные графики электропотребления на основе ключевых показателей для группы однотипных потребителей, с учетом интересов потребителя, что позволяет оценить эффект от внедрения программ по управлению спросом на электрическую энергию. Особенности потребителей учтены коэффициентом гибкости их спроса k_g .

Практическая значимость. Разработанный механизм оценки возможности внедрения инновационных программ DSM для оптимизации режимов электропотребления. Установлено, что бытовые потребители электрической энергии имеют значительный потенциал снижения пикового потребления путем использования программ по управлению спросом на электрическую энергию, направленных на уменьшение расходов для потребителей и увеличения коэффициента заполнения графика для энергетических компаний.

Ключевые слова: Smart Grid, электроснабжение, энергоэффективность, управление спросом, DSM, неравномерность суточного графика.

**ANALYSIS OF THE DAILY ELECTRICITY CONSUMPTION SCHEDULE
OPTIMIZATION OPPORTUNITIES
DENYSIUK S., OPRYSHKO V.**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute»

Purpose. Explore the possibilities of management programs usage to control electricity demand in Ukraine. To develop an optimization mathematical model of the power consumption regime based on key indicators of the consumption schedule estimation and equipment flexibility factors.

Methodology. Proved that as a result of demand side management programs for electricity are benefit of only for consumers and energy companies, but also for a whole society. Classification of demand-management programs for electricity according to spheres of action presented. The article deals with the method for electricity consumption daily schedule optimization while implementing electricity demand management programs.

Findings. The effects of demand management programs implementation and reducing consumption schedule unevenness problems based on optimization task with the schedule coefficient and the cost of electric energy reduction have been analyzed. The conducted variants research of demand side management programs influence on possibilities of electric energy consumption schedule modification confirmed the possibilities of increasing power systems functioning efficiency.

Originality. Optimized energy consumption graphs are obtained based on key indicators for a group of the same type consumers, considering consumer interests, which enables to assess the effect demand side management programs implementation. Consumers peculiarities are considered by coefficient of their demand flexibility k_d .

Practical value. The mechanism for the DSM innovation programs for optimizing power consumption regimes introduction possibility evaluation has been obtained. Established that domestic electric energy consumers have a significant potential for peak consumption reduction by usage of demand side management programs aimed at costs reduction for consumers and increasing the electrical consumption schedule filling ratio for energy companies.

Keywords: Smart grid, power supply, energy efficiency, demand management, DSM, daily graph unevenness.