

4. William G. Anderson. Intermediate Temperature Fluids for Heat Pipes and Loop Heat Pipes / William G. Anderson, John R. Hartenstine, David B. Sarraf, and Calin Tarau // 15th International Heat Pipe Conference (15th IHPC). – Clemson, USA: – april 25-30, 2010.

5. William G. Anderson. Intermediate Temperature Fluids Life Tests – Experiments / William G. Anderson, Richard W. Bonner, Peter M. Dussinger, John R. Hartenstine, and David B. Sarraf // 15th International Heat Pipe Conference (15th IHPC). – Clemson, USA: – april 25-30, 2010.

6. Jouhara H. An experimental study of wickless miniature heat pipes operating in the temperature range 200°C to 450°C / Jouhara H., Kelly C., Robinson A. J.// UK Heat Transfer 2007 Proceedings. - Edinburg, UK: - september 10-11, 2007.

7. David B. Sarraf. High-Temperature Water Heat Pipes / David B. Sarraf, William G. Anderson // IMAPS International Conference on High Temperature Electronics. – Santa Fe, NM: – may 15-18, 2006.

8. Shilovich I.L. Teploperedayuschie harakteristiki srednetemperaturnogo termosifona s teplonositelem sera - iod // Avtoref. dis. k.t.n. – M. - 1991. – 47 s.

9. Bezrodnyiy M.K., Shilovich I.L., Panov E.N. Opredelenie stepeni zapolneniya termosifonov dvuhkomponentnyim teplonositelem sera-iod. - Promyishlennaya teplotehnika, 1991, #5, s. 54-58.

10. Kniess C. T. Experimental study of mercury and naphthalene thermosyphons / Kniess C.T, Mantelli M.B.H.// 14th International Heat Pipe Conference (14th IHPC). – Florianopolis, Brazil: – april 22-27, 2007.

УДК 536.24

С.М. Хайрнасов, канд. техн. наук, ст. наук. спів.;

Б.М. Рассамкін, канд. техн. наук, ст. наук. спів.; **Є.В. Биков**

**Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ СЕРЕДНОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕРМОСИФОНУ
ДЛЯ СИСТЕМ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ГАЗІВ З ТЕМПЕРАТУРОЮ БІЛЬШЕ 400 °С**

Було розроблено конструкцію середнетемпературного термосифона з теплоносієм даутерм, призначеного для використання в системах утилізації теплоти відхідних газів з температурою більше 400 °С. Експериментально визначені коефіцієнти тепловіддачі в зоні випаровування і конденсації, що становили відповідно 1100 Вт/(м²·К) та 1400 Вт/(м²·К); термічний опір термосифона не перевищував 0,026 °С/Вт при робочих температурах від 150 °С до 370 °С, при цьому максимально можливий для передачі тепловий потік становив 2800 Вт при температурі 390 °С. Також експериментальні дослідження показали, що теплоносій даутерм доцільно застосовувати при температурі пари в термосифоні не більшій за 350 °С. При вищих значеннях існує ризик утворення газу, що не конденсується.

Ключові слова: тепла труба, середньотемпературний теплоносій, коефіцієнт тепловіддачі, кипіння, конденсація, утилізація теплоти.

Надійшла 06.04.2014

Received 06.04.2014

УДК 621.31

Т.М. Базюк; І.В. Притискач

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ СПОЖИВАННЯ АКТИВНИМ
СПОЖИВАЧЕМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ З МЕРЕЖІ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

Ефективне використання потенціалу активних споживачів для регулювання режимів роботи мережі та вирівнювання графіку споживання вимагає виконання оптимізації графіку споживання електроенергії із загальної мережі. В роботі запропоновано алгоритм вибору взаємовигідного режиму, який включає одержання обмежень на параметри оптимізаційної задачі у вигляді оптимальних, допустимих та граничних умов. Крім цього, розглянуто алгоритм перевірки силового обладнання системи електропостачання на предмет здатності забезпечити відповідні режими роботи. Показано яким чином теплові моделі елементів електропостачальної системи можуть бути використані для формування оптимальних, допустимих та граничних умов.

Ключові слова: активний споживач, графік навантаження, оптимізаційна задача, електропостачальна система, навантажувальна здатність.

Вступ. Ефективність функціонування енергетики, а як наслідок і ефективність енерговикористання залежать від багатьох технічних факторів, серед яких найбільш визначальними є: структура та якісний склад генеруючих потужностей, збалансованість попиту та пропозиції, стан електричних мереж, режим роботи.

З метою підвищення ефективності експлуатації електромереж розроблені методи та засоби формування умов оптимальності їх режимів в умовах постійного зростання навантаження споживачів та збільшення частки децентралізованого генерування за рахунок джерел розосередженої генерації та обладнання активних споживачів. Для забезпечення рентабельності функціонування обладнання активного споживача, зокрема джерел розосередженої генерації та систем керування навантаженням, особливо актуальними є питання організації планування і оперативного («інтелектуального») керування режимами їхньої роботи. Внаслідок нестабільного виробітку електроенергії джерелами розосередженої генерації, через стохастичний характер більшості типів відновлювальних джерел енергії, можливості коригування режимів роботи електромереж якими відбувається транспортування електроенергії від активного споживача або до нього, є дещо обмеженими [1].

Активний споживач в електропостачальній системі. Використання джерел розосередженої генерації та систем керування навантаженням під час їхньої експлуатації передбачає отримання максимального прибутку, що проявляється через реалізацію (продаж) виробленої або зекономленої електроенергії. Тому при коригуванні режимів роботи системи електропостачання із активними споживачами, дана задача є першочерговою. Однак, в окремих випадках, першочерговим може бути надання активними споживачами додаткових послуг для системи електропостачання, тобто, використання потенціалу активних споживачів для регулювання режимів роботи мережі, для зменшення перетоків електроенергії, для вирівнювання графіку споживання та для надання інших системних послуг, що передбачає отримання певної вигоди як для енергетичної компанії, так і для самого споживача.

Оптимізаційна задача для активного споживача. Реалізація стратегії активного споживача передбачає узгодження режимів роботи обладнання споживача та мережі. З метою оптимізації таких режимів була створена модель поведінки активного споживача, в якій виділено кілька складових основного оптимізаційного завдання.

Загальна модель поведінки передбачає формування таких складових оптимізаційної задачі:

- 1) мінімізація витрат на електроенергію;
- 2) максимізація прибутку від продажу електроенергії та надання окремих системних послуг;
- 3) оптимальне споживання (вибір та дотримання оптимального графіку споживання);
- 4) максимальне використання енергії, виробленої від власних джерел розосередженої генерації;
- 5) оптимальна конфігурація мережі та параметрів системи електропостачання;
- 6) вибір оптимальних режимів роботи;
- 7) мінімальний вплив на екологію;
- 8) інші можливі вигоди.

В залежності від особливостей та можливостей того чи іншого споживача а також потреб системи електропостачання формується окрема оптимізаційна задача.

Однією із особливостей активного споживача є можливість регулювання графіку споживання. Розглянемо завдання оптимізації графіку споживання електроенергії із загальної мережі активним споживачем.

Алгоритм вибору взаємовигідного режиму полягає в наступному:

- 1) у виборі оптимального графіку, або групи оптимальних графіків, споживання електроенергії з мережі, що одночасно будуть задовольняти і споживача, і системного оператора;
- 2) у виборі оптимальних, допустимих та граничних умов роботи;
- 3) у дотриманні вибраного графіка споживання та здійсненні відповідних заходів при порушенні узгоджених умов.

У загальному випадку цільову функцію оптимізації графіка споживання електроенергії із мережі можна записати у вигляді [2]:

$$\begin{aligned}
 F(\dot{X}) &\rightarrow \text{opt}; \\
 F(\dot{X}) &= (F_1(\dot{X}); F_2(\dot{X}); \dots; F_k(\dot{X})); \\
 \dot{X} &\in \Omega; \dot{X} = (X_1; X_2; \dots; X_n); \\
 \Omega &= \{\dot{X} : a_i \leq X_i \leq b_i, i' = 1 \dots n\}.
 \end{aligned}$$

де \dot{X} – вектор оптимізованих параметрів; $F(\dot{X})$ – цільова функція; a_i, b_i – межі зміни оптимізованих параметрів.

Для окремого випадку цільову функцію оптимізації графіка споживання електроенергії з мережі можна записати у вигляді:

$$\dot{X} \in \Omega; \dot{X} = (t; u(t); p_{(H)}^{(AC-)}(t); i_H^{(AC-)}(t); C_M^-; ?),$$

де t – час; $u(t)$ – миттєве значення напруги; $p_H^{AC-}(t)$ – миттєве значення споживаної з мережі потужності; $p_H^{AC+}(t)$ – миттєве значення споживаної потужності від інших джерел (в тому числі від власних джерел активного споживача); знаки «-» та «+» – відповідно позначають спожиту з мережі та спожиту із власних джерел РГ енергію; $i_H^{AC-}(t)$ – струм, що споживається із мережі; $i_H^{AC+}(t)$ – струм, що споживається із власних джерел РГ; C_M^- – витрати на споживану із мережі електроенергію; η – коефіцієнт корисної дії.

Миттєва споживана потужність та струм обладнання активного споживача запишеться у вигляді:

$$p_H^{AC}(t) = p_H^{AC-}(t) + p_H^{AC+}(t); \quad i_H^{AC}(t) = i_H^{AC-}(t) + i_H^{AC+}(t),$$

де $p_H^{AC}(t)$ – миттєве значення споживаної навантаженням активного споживача; $i_H^{AC}(t)$ – миттєве значення струму, що споживається навантаженням активного споживача.

З метою вибору найбільш оптимального графіку споживання, на кожен із параметрів оптимізаційної задачі повинні накладатися обмеження у вигляді умов, які є бажаними для споживача та мережі (оптимальні), умов які за певних упушень є прийнятними для обох сторін (допустимі), та умов, недотримання яких є неприпустимим для однієї або двох сторін (граничні). Дані обмеження представимо у вигляді функцій: оптимальні – $G(\dot{X}) = (g_1(\dot{X}); g_2(\dot{X}); \dots; g_m(\dot{X}))$; допустимі – $K(\dot{X}) = (k_1(\dot{X}); g_2(\dot{X}); \dots; k_l(\dot{X}))$; граничні – $H(\dot{X}) = (h_1(\dot{X}); h_2(\dot{X}); \dots; h_p(\dot{X}))$.

При вирішенні конкретної оптимізаційної задачі, формується перелік вищеописаних умов для кожного із оптимізованих показників. Для прикладу, завдання оптимізації графіка споживання електроенергії можна представити у вигляді:

$$F(t; u(t); p_H^{AC-}(t); i_H^{AC-}(t); C_M^-; \eta) \rightarrow opt,$$

Що стосується обмежень для кожного із параметрів даної оптимізаційної задачі, то оптимальні, допустимі та граничні умови для напруги $u(t)$ визначаються державним стандартом. Для миттєвих значень споживаної потужності $p_H^{AC-}(t)$, та струму $i_H^{AC-}(t)$ встановлюються обмеження, які можна представити в наступному вигляді для $p_H^{AC-}(t)$:

$$[p_H^{AC-}(t)]_{opt1} \leq p_H^{AC-}(t) \leq [p_H^{AC-}(t)]_{opt2} - \text{оптимальні умови;}$$

$$[p_H^{AC-}(t)]_{opt1} \leq [p_H^{AC-}(t)]_{don1}; [p_H^{AC-}(t)]_{opt2} \leq [p_H^{AC-}(t)]_{don2} - \text{допустимі умови;}$$

$$[p_H^{AC-}(t)]_{min} \leq [p_H^{AC-}(t)]_{don1}; [p_H^{AC-}(t)]_{don2} \leq [p_H^{AC-}(t)]_{max} - \text{граничні умови.}$$

Витрати на електроенергію спожиту із мережі електропостачання запишемо у вигляді:

$$\int_{t_1}^{t_2} C(t) \times \sum_{i=1}^n P_i^-(t) dt \rightarrow min,$$

де $C(t)$ – ціна на електроенергію для багатозонного тарифу на електроенергію; $\sum_{i=1}^n P_i^-(t) dt$ – сумарна спожита електроенергія із мережі, за період часу, що розглядається.

Що стосується коефіцієнту корисної дії η , то для найбільш оптимальним та економічно вигідним є його максимального значення: $\eta \rightarrow max$. Однак, це не завжди є можливим, тому, з метою проведення найбільш вигідної оптимізації, для кожного конкретного випадку, для кожної одиниці обладнання також повинні бути встановлені відповідні оптимальні, граничні та допустимі значення ККД.

Для варіанту, коли живлення всього навантаження споживача здійснюється від мережі, повинна виконуватися наступна умова для миттєвої потужності:

$$p_H^{AC-}(t) = p_M^-(t),$$

де, $p_H^{AC-}(t)$ – миттєва споживана потужність навантаження активного споживача; $p_M^-(t)$ – миттєва споживана потужність від джерел розосередженої генерації.

Вся споживана потужність сумарного навантаження активного споживача забезпечується з мережі у повному обсязі. З метою ефективної роботи системи енергопостачання, із системним оператором може бути узгоджений оптимальний графік споживання для конкретного споживача. Миттєва споживана потужність активного споживача повинна відповідати миттєвій оптимальній споживаній потужності:

$$p_H^{AC-}(t) \rightarrow opt,$$

де $p_H^{AC-}(t)$ – миттєва споживана потужність навантаження активного споживача; $i_H^{AC-}(t)$ – миттєвий струм що споживається активним споживачем; $p_M^-(t)$ – миттєва споживана потужність з мережі.

Для живлення всього навантаження споживача від джерел розосередженої генерації повинна виконуватися наступна умова: $p_H^{AC-}(t) \leq p_{RG}^{AC+}(t)$, при цьому повинен здійснюватися відбір всієї

електроенергії виробленої розосередженими генераторами: $W_{\text{ГР}}^{\text{AC}+} \rightarrow \max$, $p_{\text{ГР}}^{\text{AC}+}(t) \rightarrow \max$,
 $p_{\text{H}}^{\text{AC}-}(t) \leq p_{\text{H}(\text{opt})}^{\text{AC}-}(t)$.

Оцінка навантажувальної здатності трансформаторів. Крім того, однією із задач вибору оптимального режиму роботи мережі та графіка споживання, є перевірка силового обладнання системи електропостачання на предмет здатності забезпечити відповідні режими роботи. Передача електроенергії від мережі до споживача здійснюється через лінії електропередачі та силові трансформатори, які характеризуються певною навантажувальною здатністю, що обмежує максимальну потужність, яку можна споживати з мережі в певний момент часу. Оскільки спрощений підхід до вибору обмежень сильно знижує навантажувальну здатність елементів, то для використання повного резерву силового обладнання пропонується використовувати стохастичний підхід для оцінки навантажувальної здатності з використанням моделей фізичних процесів нагрівання відповідних елементів електропостачальних систем, зокрема силових трансформаторів та кабелів.

За стохастичного підходу кожна з умов, які задають певні критерії оптимізації, розглядають як бажану або небажану подію [3]. Критерієм оптимальності в цьому випадку є імовірності виконання даних подій. У цьому випадку відбувається нормування максимальної імовірності появи небажаної події, наприклад:

– значення температури в будь-який момент часу менше або дорівнює припустимому значенню $\theta_{\text{доп}}$, тобто $p[\theta(t) \geq \theta_{\text{доп}}] = \alpha$;

– відносний знос ізоляції $L(t)$ за час T менше або дорівнює одиниці, тобто $p[L(t) \geq 1] = \beta$, де α , β – імовірності перевищення відповідно температурою та відносним зносом ізоляції певного значення.

Оскільки напряму визначити аналітичні вирази для функцій температури і відносного зносу ізоляції з теплових моделей обладнання дуже важко, а часто і не можливо, то для перевірки виконання даних умов пропонується виконувати комп'ютерне моделювання даних величин з певним часом дискретизації. В такому випадку може бути запропоновано наступний алгоритм:

– отримуємо з попереднього етапу оптимізації параметри режиму споживання електроенергії з мережі у вигляді графіку потужності $p_{\text{H}}^{\text{AC}-}(t)$ та струму $i_{\text{H}}^{\text{AC}-}(t)$ з певною дискретизацією за часом;

– використовуючи відповідні теплові моделі силового електрообладнання визначаємо реалізацію його температур $\theta_k(t)$, а також відносного зносу L ;

– здійснюємо статистичну обробку реалізацій кожної з величин з одержанням їх статистичних характеристик та побудовою функцій розподілу;

– оскільки вищеописаними умовами користуватися не досить зручно, здійснюємо їх перевірку за допомогою визначення детермінованих функцій квантилів $\theta_{k,\alpha}$, L_{β} за відповідними ймовірностями α (імовірність перевищення температурою певного її значення) та β (імовірність перевищення зносом певного значення);

– виконуємо оцінку допустимості даного режиму споживання електроенергії за допустимою навантажувальною здатністю силових елементів мережі перевіривши виконання умов критеріїв допустимої температури та зносу ізоляції:

$$\theta_{k,\alpha} \leq \theta_{\text{доп}} \text{ та } L_{\beta} < 1.$$

Крім простої перевірки допустимості, отриманого на попередньому етапі графіка навантаження потужності $p_{\text{H}}^{\text{AC}-}(t)$ та струму $i_{\text{H}}^{\text{AC}-}(t)$, теплові моделі елементів електропостачальної системи можуть бути використані для отримання оптимальних, допустимих та граничних за навантажувальною здатністю умов.

Оптимальні умови будуть відповідати мінімуму відносного теплового зносу ізоляції за базисний час T , тобто таким чином ми зменшуємо використання ресурсу обладнання і продовжуємо термін його служби:

$$L_T(t, p_{\text{H}}^{\text{AC}-}, i_{\text{H}}^{\text{AC}-}) \rightarrow \min.$$

Допустимими вважатимемо умови, за яких температури основних частин обладнання може на певний час перевищувати номінальне значення, але завжди менша за гранично допустимі, та відносний знос ізоляції менший одиниці. Наприклад, для силових масляних трансформаторів умови виконання цього критерію можна записати у вигляді

$$\theta_h(t) \leq \theta_{h,\text{доп}}; \theta_o(t) \leq \theta_{o,\text{доп}}; L_T \leq 1.$$

де $\theta_h(t)$ та $\theta_o(t)$ – відповідно температура найбільш нагрітої точки обмотки та температура масла трансформатора; $\theta_{h,\text{доп}}$, $\theta_{o,\text{доп}}$ – максимально допустимі значення цих величин по навантажувальній здатності [4].

Грачними будуть умови за яких температури елементів електропостачальної системи менші за максимальні допустимі, а відносний знос може перевищувати одиницю

$$\theta_h(t) \leq \theta_{h, \text{доп}}; \quad \theta_o(t) \leq \theta_{o, \text{доп}}.$$

Такий режим роботи може бути допустимим тільки нетривалий час у випадку аварійних ситуацій, оскільки в такому випадку значно знижується ресурс і відповідно термін служби обладнання.

Висновки. Вирішення задачі узгодження режимів роботи обладнання активного споживача та мережі передбачає виконання певної оптимізації таких режимів. Для цього в роботі була запропонована модель поведінки активного споживача, в якій виділено основні складові основного оптимізаційного завдання. Детально розглянуто алгоритм вирішення завдання оптимізації графіку споживання електроенергії із загальної мережі. Для виконання перевірки силового обладнання системи електропостачання на предмет здатності забезпечити відповідні режими роботи пропонується використовувати стохастичний підхід для оцінки навантажувальної здатності трансформаторів з використанням моделей фізичних процесів нагрівання відповідних елементів. Показано основні принципи отримання оптимальних, допустимих та граничних умов.

Список літератури

1. Булатов Б.Г. Алгоритмы интеллектуального управления режимом распределительной сети / Б.Г.Булатов, В.В. Тарасенко //Вестник ЮУрГУ, –2012. – №37.
2. Тонкаль В.Е., Руденко В.С., Жуйков В.Я. та ін. Вентильные преобразователи переменной структуры. – К.: Наукова думка, 1989. – 336 с.
3. Денисенко М.А. Спеціальні питання електропостачання. Вибір елементів електропостачальних систем на основі стохастичного моделювання процесів, що відбуваються в них. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 288 с.
4. IEC 60076-7:2005. Power transformers - Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers. – 2005. – 62 p.

T. Baziuk, I. Prytyskach

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

OPTIMIZATION OF ACTIVE CONSUMER'S ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION FROM THE ELECTRICITY NETWORK

Effective use of the active consumer potential to regulate the network load flow for energy consumption smoothing requires optimization of active consumer load graph from the total network. The paper presents a mutually beneficial mode selection algorithm that includes obtaining constraints on the parameters of the optimization problem in the form of conditions that are desirable for consumers and networks (optimal conditions), conditions which under certain conditions are acceptable to both parties (acceptable conditions), and conditions where failure is unacceptable to one or both sides (boundary conditions). Moreover, presented algorithm for checking electrical power system equipment in terms of the ability to provide appropriate modes. It is shown how the thermal element model of electricity supply systems can be used to obtain optimal, acceptable and boundary conditions for load capacity.

Keywords: prosumer, load graph, optimization problems, electricity supply system, load capacity.

1. Bylatov B. Mining algorithms mode control of the distribution network / B. Bulatov, V. Tarasenko // Vestnik SUSU, – 2012. – № 37.
2. Tonkal V., Rudenko V., Zyikov V. and others. Circuit inverters variable structure. – K.: Naukova dumka, 1989. – 336 p. (Rus).
3. Denisenko M. Special issue of power supply. Selection of electricity supply systems items based on stochastic modeling of processes occurring in them. – K.: NTU "KPI", 2009. – 288 p. (Ukr)
4. IEC 60076-7:2005. Power transformers - Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers. – 2005. – 62 p.

УДК 621.31

Т.М. Базюк, И.В. Прытыскач

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ АКТИВНЫМ ПОТРЕБИТЕЛЕМ ИЗ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Эффективное использование потенциала активных потребителей для регулирования режимов работы сети и выравнивания графика потребления требует выполнения оптимизации графика потребления электроэнергии активным потребителем. В работе предложен алгоритм выбора взаимовыгодного режима, который включает получение ограничений на параметры оптимизационной задачи в виде условий, которые являются желанными для потребителя и сети (оптимальные условия).

условий которые при определенных допущениях приемлемы для обеих сторон (допустимые условия), и условий, несоблюдение которых недопустимо для одной или двух сторон (предельные). Кроме этого, рассмотрен алгоритм проверки силового оборудования системы электроснабжения на предмет способности обеспечить соответствующие режимы работы. Показано каким образом тепловые модели элементов системы электроснабжения могут быть использованы для получения оптимальных, допустимых и предельных по нагрузочной способности условий.

Ключевые слова: активный потребитель, график нагрузки, оптимизационная задача, система электроснабжения, нагрузочная способность.

Надійшла 04.04.2014

Received 04.04.2014

УДК 621.316.1

**В.А. Попов, канд. техн. наук, доцент; Е.С. Ярмолук, П.А. Замковой, И.А. Дмитренко
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»**

ДВУХЭТАПНЫЙ АЛГОРИТМ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ МИКРОСИСТЕМ С УЧЕТОМ ФАКТОРА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В работе представлены результаты исследований связанных с разработкой двухэтапного алгоритма выбора оптимальных структуры и параметров генерирующих источников в автономной микросистеме. Предложенная для данной цели процедура позволяет учесть неопределенность исходной информации, а также многокритериальный характер рассматриваемой задачи. На первом этапе сравнение предварительно сформированных вариантов построения микросистемы осуществляется на основе анализа модифицированных многомерных платежных матриц с использованием критериев теории игр и похода Беллмана-Заде к многокритериальному принятию решений, что позволяет выделить ограниченное число наиболее рациональных альтернатив. На втором этапе выбор оптимального решения осуществляется путем реализации процедур инвестиционного менеджмента, при интервальном задании ряда факторов, используя обобщенную интервальную арифметику Хансена.

Ключевые слова: микросистема, теория игр, многокритериальное принятие решений, подход Беллмана-Заде, интервальная арифметика Хансена.

1 Введение

Одной из характерных особенностей развития современной мировой энергетики является масштабное расширение использования новых технологий генерации и распределения энергии, сопровождаемое созданием интеллектуальных сетей (smart grid) и микросистем (microgrids), в качестве их важного структурного элемента. Целесообразность формирования микросистем объясняется рядом причин. Прежде всего, в этом случае проще задействовать возобновляемые источники энергии, а также источники, использующих местные сырьевые ресурсы. Помимо этого очевидно, что в данных условиях введение в работу нового современного генерирующего оборудования реализуется быстрее, возникает возможность снизить эксплуатационные затраты, уровень выбросов в окружающую среду. Компактное расположение источников и потребителей энергии позволяет сократить потери энергии, связанные с ее передачей и распределением по электрическим и тепловым сетям. Как показывают исследования и уже существующая практика, в микросистемах обеспечить высокую надежность легче, чем при ориентации исключительно на централизованное электроснабжение. При этом микросистема может работать как в автономном режиме, так и параллельно со смежными микросистемами или в перспективе интегрироваться в электрические сети энергосистем [1]. Формирование автономных микросистем является актуальной задачей в условиях Украины, учитывая, что на сегодняшний день в стране отсутствуют необходимые правовая и нормативная базы, регламентирующие, в частности, технические требования интеграции подобных структур в централизованные системы электроснабжения, возможность и условия реализации избыточной электрической и тепловой энергии.

Вместе с тем, для того, чтобы микросистема отвечала указанным требованиям, необходимо выполнение ряда условий. Здесь одной из важнейших и первоочередных задач является