

ДЕЯКІ ПІДХОДИ ДО ПРОБЛЕМ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОСТІ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуті методики врахування невизначеності початкової інформації при дослідженні енергетичних установок (ЕУ) методами математичного моделювання. Наведені описи програмної реалізації методу системного аналізу та результати багатокритеріальної оцінки варіантів ЕУ.

Ключові слова: невизначеність, багатокритеріальність, математичні моделі, енергетичні установки.

Abstract

The methods of taking into account the uncertainty of the initial information in the study of power plants by methods of mathematical modeling are considered. The descriptions of program realization of the method of system analysis and the results of multicriteria estimation of variants of power plants are given.

Keywords: uncertainty, multicriteria, mathematical models, power plants.

Вступ

В дослідженнях енергетичних установок методами математичного моделювання є проблеми невизначеності та багатокритеріальності. Життєвий цикл енергетичних установок (ЕУ) складає 30 і більше років. Цей цикл включає етапи передпроектних досліджень з вибору типу ЕУ та оптимізації ЕУ вибраного типу, проектування та модернізації ЕУ в процесі експлуатації. Дослідження виконуються за допомогою математичних моделей схем та обладнання ЕУ. Як відомо, «...математика, ніби жорно, перемелює те, що під нього засипають, і як, засипавши лободу, ви не отримаєте пшеничного борошна, так, списавши цілі сторінки формулами, ви не отримаєте істини з помилкових передумов» (Томас Генрі Гакслі). Результати досліджень залежать від початкових даних, значення частини яких змінюються на протязі життєвого циклу ЕУ. Це, насамперед, вартості металів та виробів з них, питомі вартості теплової та електричної енергій, параметри навколишнього середовища. Наприклад, низькопотенційна частина ЕУ Ладижинської ТЕС проектувалась при значенні середньорічної температури води водоохолодника 12 °С. Підвищення її до 15 °С негативно позначилося на теперішніх експлуатаційних показниках ТЕС [1]. Метою роботи є розгляди методик врахування невизначеності і багатокритеріальності та питань їх практичного застосування.

Основна частина

Суть відомого способу врахування невизначеності при оптимізації параметрів роботи схем ЕУ полягає в наступному. Експертними оцінками визначається інтервал змін вихідних питомих вартісних та інших техніко-економічних показників, формуються альтернативні набори цих показників (оптимістичний, середній, песимістичний) та виконується оптимізація схеми для кожного набору показників. Остаточний варіант параметрів схеми вибирається з інженерних міркувань. Приклад застосування такого способу наведений в [2]. Схемні параметри є зовнішніми для елементів схеми. При оптимізації внутрішніх параметрів елемента схеми, невизначеність початкової інформації знижується запропонованою авторами методикою динамічної оптимізації, яка дозволяє врахувати ймовірнісну зміну характеристик елемента під час експлуатації. Для цього вводиться додатковий оціночний функціонал, яким є відхилення важливої характеристики елемента (ККД, коефіцієнта теплопередачі), які очікуються на ділянках часового інтервалу експлуатації, від проектного (середнього) значення. Тобто визначається варіант, найбільш сталий до зміни призначеної характеристики в процесі експлуатації. Сутність методу в наступному. Є ряд конкуруючих варіантів

$\varphi_1, \varphi_2 \dots \varphi_m$, з яких необхідно вибрати остаточний. Такий вибір розглядається, як задача прийняття рішення в ситуації $\{\Psi, A_n, F\}$, де $\Psi = \{\varphi_1, \varphi_2 \dots \varphi_m\}$ – множина рішень; $A_n = \{\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n\}$ – множина станів ймовірно-змінюючихся в часі параметрів λ ; $F = \{f_{jk}\}$ – матриця оціночного функціонала.

В розгорнутому вигляді дана ситуація може бути представлена матрицею

$$\begin{array}{cccc} & \varphi_1 & \varphi_2 & \dots & \varphi_m \\ \lambda_1 & f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1m} \\ \lambda_2 & f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2m} \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_n & f_{n1} & f_{n2} & \dots & f_{nm} \end{array}$$

тут m – кількість варіантів; n – кількість розглядаємих станів A_n .

Множині A_n ставиться у відповідність множина $P = \{P_1, P_2 \dots P_n\}$ ймовірностей станів параметрів $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$. Чисельні значення $P_1, P_2 \dots P_n$ визначаються за статистичними даними або експертними оцінками.

Знаходження значень критеріїв вибору в залежності від інформаційної ситуації відбувається по формулам розрахунків критерія Байеса, модального критерію і критерія Бернуллі-Лапласа.

Згідно критерію Байеса, оптимальним вважається таке рішення $\varphi_k^{opt} \in \Psi$, для якого математичне очікування оціночного функціонала досягає найменшого значення

$$B(P, \Psi_k^{opt}) = \min \left[\sum P_j f_{jk} \right] = \sum P_j f_{jk}^{opt}, j = 1, 2, 3 \dots n \quad (1)$$

В тому випадку, якщо можна визначити лише найбільш вірогідні стани параметрів і не можна розрахувати кількісні значення вірогідностей P , застосовується модальний критерій. По цьому критерію перевага віддається варіанту, для якого справедлива рівність:

$$f_{jlk}^{opt} = \min f_{jlk} \quad (2)$$

при умові, що $P_{j1} = \max P_0$.

Якщо немає підстави вважати один стан більш ймовірним за інший, по критерію Бернуллі-Лапласа, оптимальним вважається таке рішення, яке задовільняє умові:

$$BL(P, \varphi_k^{opt}) = \min \left[\frac{1}{n} \sum f_{jk} \right] j = 1, 2, 3 \dots n \quad (3)$$

Приклад застосування такої методики наведений в [3].

Функціонування складних систем, до яких відносяться ЕУ електричних станцій, характеризуються багатьма критеріями. При відсутності типової методики багатокритеріальної оцінки ЕУ для цієї мети використаний метод системного аналізу енергетичних об'єктів, створений в одній з закордонних експертних фірм. Такі фірми виконують замовлення енергомашинобудівних підприємств на визначення місць розміщення електростанцій, їх типів, потужностей та для інших задач. Наприклад, для фірми General Electric експертна фірма виконала оптимізацію теплової схеми АЕС з водо-водяним реактором. Щоб не використовувати заводські методики, трудомісткі та з надлишковою деталізацією, фірми розробляють власні інтегральні методики, в яких деталізація математичних описів обладнання відповідає мірі достовірності початкових даних по цьому обладнанню.

За методом системного аналізу функція якості F об'єкта дослідження в нормованому вигляді визначається так:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n k_i F_i(x_i), \quad (4)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – загальна кількість параметрів, $F_i(x_i)$ - нормовані одномірні функції корисності, k_i - вагові коефіцієнти, які характеризують ціннісні співвідношення між окремими критеріями.

Метод реалізована програмою, в діалозу з якою користувач-експерт працює в наступній послідовності: призначення та введення критеріїв; упорядкування критеріїв по важливості; перевірка незалежності критеріїв по перевазі; побудова одномірних функцій якості; визначення вагових коефіцієнтів; автоматична побудова математичної моделі системи, яка досліджується; розрахунки варіантів системи на математичній моделі.

Числові значення критеріїв для розрахунків варіантів системи можуть задаватися як абсолютними показниками, так і відносними показниками з інтервалу від 0 до 100.

За допомогою програми розраховані варіанти реконструкції ТЕЦ максимальною тепловою потужністю 64 МВт з парогенератором ТС-35, протитисковою паровою турбіною Р-2,5-1,5/3 та чотирма водогрійними котлами ПТВМ-30. В варіанті 1 (ГТУ) – передбачена заміна парогенератора та турбіни газотурбінною установкою (ГТУ) SGT-400 потужністю 13,9 МВт. В варіанті 2 (ПГУ) – встановлюється парогазова установка з (ГТУ) SGT-400 потужністю 13,9 МВт, котел-утилізатор та протитискова парова турбіна. В варіанті 3 (ПТУ) – встановлюються паротурбінна установка з додаткового парогенератора БМ-35 та парової турбіни Р-6-3,5/0,1. В варіанті 4 (ГПД) – передбачена заміна парогенератора та турбіни газопоршневими двигунами Waukesha APG3000 потужністю 9МВт з утилізаторами теплоти вихлопних газів для забезпечення гарячого водопостачання (ГВП).

Прийняті критерії та результати рзрахунків частинних та сумарних функцій якості варіантів наведені в таблиці. Критерій 10. «Відносний попит на генеровану електроенергію» відображує ту обставину, що у ТЕС, яка є головним постачальником електроенергії в регіон закінчився термін експлуатації і, врешті-решт, вона буде зупинена, після чого попит на електроенергію збільшиться. Критерій 12. «Відносний рівень негативного впливу ЕУ на персонал» враховує шум, вібрації, загазованість в приміщеннях роботи персоналу.

Таблиця - Результати багатокритеріальної оцінки варіантів схеми ТЕЦ

Критерії	Базовий варіант		1. ГТУ		2. ПГУ		3. ПТУ		4. ГПД	
	Числове значення критерію	Часткова функція якості $\times 10^2$	Числове значення критерія	Часткова функція якості $\times 10^2$	Числове значення критерія	Часткова функція якості $\times 10^2$	Числове значення критерія	Часткова функція якості $\times 10^2$	Числове значення критерія	Часткова Функція якості $\times 10^2$
1. Затрати на паливо, млн. у.о./рік	10,5	8,970	13,5	8,846	14,99	8,787	11,1	8,946	15,5	8,767
2. Термін окупності, років	0	9,242	4,257	9,040	2,392	9,129	1,37	9,188	4,637	9,022
3. Капіталовкладення, млн. у.о.	0	8,888	9,83	5,315	11,7	4,644	3,27	7,700	9,22	5,700
4. Прибуток підприємства, млн. у.о./рік	1,9	4,358	2,34	4,517	4,9	5,516	2,9	4,745	2	4,455
5. Виробництво електроенергії, млн. кВт·год/рік	10,99	4,199	42,19	5,656	76,97	7,279	39,99	5,620	51,4	6,038
6. Експлуатаційні затрати без затрат на паливо, млн. у.о./рік	1,1	7,883	1,13	7,874	1,45	7,744	1,11	7,880	0,65	8,063
7. Споживання електроенергії, млн. кВт·год/рік	0	8,175	0	8,175	0	8,175	0	8,175	0	8,175
8. Імовірність відмов, 10^5	40	5,421	15	7,151	20	6,904	5	7,645	20	6,904
9. Кількість шкідливих викидів, млн. м ³ /рік	432,19	7,383	557,9	7,379	617,62	7,376	457,111	7,382	638,2	7,375
10. Відносний попит на генеровану електроенергію, з інтервалу 0-100	10	1,754	20	3,383	25	3,590	15	2,632	20	3,383
11. Травматичність виробництва, 10^4	5	5,8	6	5,75	7	5,705	5	5,8	6	5,75
12. Відносний рівень негативного впливу ЕУ на персонал, 0-100	20	5,160	25	5,002	30	4,844	20	5,160	40	4,529
Сумарна функція якості	0,775		0,781		0,795		0,810		0,735	

Як видно з таблиці, за сумарною функцією якості, кращим є третій, найпростіший у виконанні варіант – збільшення потужності паротурбінної установки ТЕЦ. Четвертий варіант гірше третього через великі капіталовкладення, менший прибуток, більшу ймовірність відмов, більший негативний вплив на персонал.

Висновки

1. Розглянуті методики врахування впливу невизначеності початкової інформації при дослідженнях ЕУ методами математичного моделювання.

2. Метод системного аналізу енергетичних об'єктів реалізований за допомогою комп'ютерної програми.

3. За допомогою комп'ютерної програми виконана багатокритеріальна оцінка варіантів схем ТЕЦ з тепловими двигунами різних типів.

4. Переваги методу системного аналізу для багатокритеріальної оцінки варіантів ЕУ перед оцінками за економічними та енергетичними показниками наступні:

- протиріччя між енергетичними та економічними показниками ЕУ (так, в більшості випадків зменшення витрати палива супроводжується збільшенням капіталовкладень) ускладнює вибір остаточного варіанта. В методі системного аналізу показники “згортаються” в один, що спрощує прийняття рішення;

- є можливість врахування якихось особливостей (наприклад, регіону підприємства) введенням відповідних критеріїв;

- при необхідності, не складно перевірити стійкість прийнятого рішення розрахунками зі зміненими пріоритетами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головченко О. М. Адаптація енергоблока ТЕС до зміни гідрологічного режиму водосховища / О. М. Головченко, О. І. Юношев // Вісник ВПІ. – 2012. – № 5. – С.75-80.

2. Головченко О. М. Математичне моделювання та дослідження теплової схеми міні-ТЕЦ на лушпинні / О. М. Головченко, В. В. Студинський, І. В. Штуй // Наукові праці ВНТУ. – 2009. – №1.

3. Головченко О. М. Оптимізація теплоенергетичних установок в процесі їх проектування та модернізації / О. М. Головченко, М. В. Пушкар // Вісник ВПІ. – 2003. – № 6. – С.227-235.

Головченко Олексій Михайлович – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com;

Нанак Олена Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net;

Студинський Владислав Володимирович – інженер.

Golovchenko Oleksiy M. – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aleksey.golovch@mail.ru;

Nanaka Olena M. – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e_nanaka@ukr.net;

Studinsky Vladislav V. – engineer.