

УДК 681.515+62-551.453

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГОРЕСУРСУ МІЖ СПОЖИВАЧАМИ ШЛЯХОМ ІТЕРАЦІЙНОГО ПРОПОРЦІЙНОГО ЗМЕНШЕННЯ ЗАЯВКИ НА РЕСУРС (АВТОРСЬКИЙ МЕТОД)

Скачок О.В., магістрант, керівник Розен В.П., к.т.н. професор,
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
 Кафедра АУЕК, НТУУ «КПІ», вул.. Борщагівська, 115, м. Київ, 03056, Україна
 Тел.:(044) 245-61-60, E-mail: auek@ukr.net

Розглядається методика розподілу енергоресурсу між споживачами електроенергії в умовах дефіцитної енергосистеми шляхом ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс з метою досягнення мінімуму втрат для енергосистеми в цілому.

Рассматривается методика распределения энергоресурса между потребителями электроэнергии в условиях дефицитной энергосистемы путем итерационного пропорционального уменьшения заявки на ресурс с целью достижения минимума потерь для энергосистемы в целом.

The technique of energy distribution between consumers of electricity in a power deficit by iterative proportional reduction of the application for a resource to achieve minimum losses for the grid as a whole.

Загальна постановка проблеми

У комплексі «Енергосистема – споживач» може виникнути ситуація, у якій сума всіх заявок споживачів на ресурс буде більше існуючого ресурсу в енергосистемі, тобто енергосистема стане дефіцитною:

$\sum_{i=1}^n s_i > R$ (де s_i - заявка споживача на ресурс, R - існуючий ресурс в енергосистемі). У такій ситуації завдання розподілу активної електричної потужності й енергії є особливо актуальною. Її суть зводиться до розподілу ресурсу (P, W) між споживачами таким чином, щоб у результаті досягався мінімум втрат для системи в цілому.

Математичне формулювання завдання

У рамках поставленого завдання розглянемо наступну модель. Система розподілу ресурсів електричної потужності й енергії містить у собі ЦПО й «підлеглих» йому i -тих споживачів енергоресурсу P, W - виробничої системи.

У кожний плановий період ЦПО володіє запасом ресурсу P, W в кількості R , що видає кожному i -му споживачеві в кількості, відповідно до запиту на ресурс s_i і обліком питомого збитку від недоодержання енергоресурсу A_i .

Ефективність використання енергоресурсу споживачем характеризується функцією $F_i(s_i, A_i)$, що виражає збиток A_i i -го споживача від недоодержання ресурсу $s_i = P$ або $s_i = W$. Ціль ЦПО складається у зведенні до мінімуму сумарного збитку системи F :

$$F = \sum_{i=1}^n F_i(s_i, A_i) \rightarrow \min;$$

Аналіз існуючих методів розподілу ресурсів

На даний момент існує багато різних методів розподілу ресурсу між споживачами. Розглянемо основні з них:

Метод аукціону.

При розподілі ресурсу за принципом Аукціону вибудовується варіаційний ряд споживачів по величині деякого показника, що залежить у загальному випадку від питомого збитку від недоодержання ресурсу, а також величини запиту. У першу чергу ресурс P, W виділяється користувачеві з максимальним показником пріоритету в кількості рівному запиту, потім користувачеві, що впливає в убутному ряді, і т.д. У випадку рівних показників пріоритетів у декількох споживачів, ресурс розподіляється між ними прямо пропорційно запитам S_i .

Метод прямих пріоритетів.

При розподілі ресурсу методом прямих пріоритетів застосовується наступний принцип:

$$X_i = \left\{ \begin{array}{l} s_i, \text{ якщо } \sum_{i=1}^n s_i \leq R, \\ \min \left[s_i, \frac{s_i}{\sum_{i=1}^n s_i} R \right], \text{ якщо } \sum_{i=1}^n s_i > R \end{array} \right\}$$

Метод зворотних пріоритетів.

У даному методі за коефіцієнт втрат варто прийняти величину A_i / s_i й розподілити ресурс за правилом:

$$X_i = \left\{ \begin{array}{l} s_i, \text{ якщо } \sum_{i=1}^n s_i \leq R, \\ \min \left[s_i, \frac{A_i / s_i}{\sum_{i=1}^n A_i / s_i} R \right], \text{ якщо } \sum_{i=1}^n s_i > R \end{array} \right\}$$

При аналізі практичних результатів розподіл ресурсу P, W виявляється наступний недолік: через наявність споживачів, що мають відносно високий коефіцієнт втрат A_i / s_i і малу величину запиту, може виникнути деяка нерозподілена величина ресурсу P, W при обліку обмеження $X_i \leq s_i$, що в умовах дефіциту ресурсу є неприпустимим. Для усунення цього недоліку необхідно застосовувати ітераційний, багатокроковий принцип зворотних пріоритетів. Первісний розподіл P, W виробляється згідно вище наведеної формули. На першому кроці з безлічі індексів $i = \overline{1, n}$, виділяється підмножина елементів K_1 , для яких $X_i \geq s_i$. Елементам з номером $i \in K_1$ виділяється ресурс у кількості $X_i = s_i$. На другому кроці з розглянутих заявок виключається підмножина елементів K_1 (так само, як і розподілена їм частина ресурсу P, W), і до споживачів, що залишилися, застосовується наступне правило:

$$X_i = \min \left[s_i, \left(R - \sum_{i \in K_1} s_i \right) \frac{A_i / s_i}{\sum_{i \notin K_1} A_i / s_i}, i \notin K_1 \right]$$

Аналогічним образом виділяється підмножина елементів K_2 . На третьому кроці з розгляду виключається підмножина споживачів K_2 . Далі процедура триває аналогічно й закінчується за кінцеве число ітерацій.

Методика розподілу ресурсу між споживачами шляхом ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс (Авторський метод)

Можливо також розподіл ресурсу по процедурі ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс. У цьому випадку йде ранжирування споживачів по показнику відношення коефіцієнта втрат до представленої заявки на ресурс A_i / S_i . У споживача з найменшим показником A_i / S_i від представленої заявки віднімається дефіцит ресурсу, якого не вистачає в енергосистемі:

$$s_{\min 1} = \sum_{i=1}^n s_i - R$$

За цими даними вираховується новий показник споживача $A_{\min 1} / s_{\min 1}$, і порівнюється з наступним найменшим показником відношення коефіцієнта втрат до представленої заявки на ресурс $A_{\min 2} / s_{\min 2}$. Якщо $A_{\min 1} / s_{\min 1} > A_{\min 2} / s_{\min 2}$, тоді першому споживачеві заявка на ресурс зменшується рівно настільки, щоб його показник відношення коефіцієнта втрат до представленої заявки став рівним показнику наступного споживача:

$$s_{\min 1} = A_{\min 1} / (A_{\min 2} / s_{\min 2})$$

Після чого процедура повторюється, але вже стосовно тих споживачів, показники A_i / S_i яких є рівними. Заявки на ресурс цих споживачів зменшуються на величину $\sum_{i=1}^n s_i - R$ (при чому показник $\sum_{i=1}^n s_i$ розраховується вже з новими значеннями заявок) пропорційно розмірам цих заявок:

$$s_1 = s_{\min 1} - \frac{s_{\min 1} (\sum_{i=1}^n s_i - R)}{s_{\min 1} + s_{\min 2}}, \quad s_2 = s_{\min 2} - \frac{s_{\min 2} (\sum_{i=1}^n s_i - R)}{s_{\min 1} + s_{\min 2}}.$$

Далі за цим даними вираховуються нові показники відношення коефіцієнтів втрат до представленої заявки тих споживачів, заявки яких були зменшені. Ці показники порівнюються з наступним найменшим показником A_i / S_i . Розрахунок триває доти, поки за рахунок поступового зменшення заявок на ресурс не буде ліквідований дефіцит в енергосистемі. Тим самим на останній ітерації розрахунку, розмір зменшених заявок на ресурс буде відповідати кількості виділеного ресурсу цьому споживачеві: $x_i = S_i$.

Приклад розрахунку методом ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс:

Маємо 5 споживачів. Збиток і заявка зазначені в таблиці. $R = 70000$

A_i	s_i	A_i / s_i	$\sum s_i - R$		
157	2500	0,0628			
4830	32400	0,149074			
4100	34500	0,118841			
1560	7000	0,222857			
2280	14200	0,160563			
	$\sum s_i = 90600$		20600		
157	1321,098	0,118841		604,84	0,259573
4830	32400	0,149074		32400,00	0,149074
4100	34500	0,118841		15795,16	0,259573
1560	7000	0,222857		7000,00	0,222857
2280	14200	0,160563		14200,00	0,160563
	$\sum s_i = 89421,1$		19421,1	70000	
157	1053,168	0,149074		843,1385	0,186209
4830	32400	0,149074		25938,59	0,186209
4100	27503,11	0,149074		22018,27	0,186209
1560	7000	0,222857		7000	0,222857
2280	14200	0,160563		14200	0,160563
	$\sum s_i = 82156,27$		12156,27	70000	
157	977,807	0,160563		870,1504	0,180429
4830	30081,58	0,160563		26769,6	0,180429
4100	25535,09	0,160563		22723,67	0,180429
1560	7000	0,222857		7000	0,222857
2280	14200	0,160563		12636,58	0,180429
	$\sum s_i = 77794,47$		7794,474	70000	

В таблиці виділені кінцеві значення розподіленого енергоресурсу споживачам.

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

Порівняльна таблиця результатів модельних розрахунків різними методами завдання розподілу потужності в енергетичній системі

Номер споживач а	Вихідні дані		Метод аукціону				Метод прямих пріоритетів		Метод зворотних пріоритетів		Авторський метод	
			$Q(A_i)$		$Q(A_i / s_i)$							
	A_i	s_i	x_i	F	x_i	F	x_i	F	x_i	F	x_i	F
1	157	2500	0,0	157,0	0,0	157,0	1931,6	35,7	2500,0	0,0	870,2	102,4
2	4830	32400	32400,0	0,0	32400,0	0,0	25033,1	1098,2	25762,4	989,5	26769,6	839,3
3	4100	34500	34500,0	0,0	16400,0	2151,0	26655,6	932,2	20537,6	1659,3	22723,7	1399,5
4	1560	7000	0,0	1560,0	7000,0	0,0	5408,4	354,7	7000,0	0,0	7000,0	0,0
5	2280	14200	3100,0	1782,3	14200,0	0,0	10971,3	518,4	14200,0	0,0	12636,6	251,0
R=70000		90600	70000,0	3499,3	70000,0	2308,0	70000,0	2939,2	70000,0	2648,8	70000,0	2592,2
1	780	2800	2800,0	0,0	2800,0	0,0	2202,2	166,5	2800,0	0,0	2800,0	0,0
2	585	6400	6400,0	0,0	6400,0	0,0	5033,7	124,9	3406,3	273,6	5339,9	96,9
3	157	2500	0,0	157,0	0,0	157,0	1966,3	33,5	2340,3	10,0	1433,1	67,0
4	268	3500	3500,0	0,0	2200,0	99,5	2752,8	57,2	2853,4	49,5	2446,3	80,7
5	217	2600	1300,0	108,5	2600,0	0,0	2044,9	46,3	2600,0	0,0	1980,8	51,7
R=14000		17800	14000,0	265,5	14000,0	256,5	14000,0	428,4	14000,0	333,2	14000	296,3
1	80	330	330,00	0,00	330,00	0,00	252,63	18,76	160,53	41,08	217,95	27,16
2	48	220	95,00	27,27	0,00	48,00	168,42	11,25	144,47	16,48	130,77	19,47
3	80	210	210,00	0,00	210,00	0,00	160,77	18,76	210,00	0,00	210,00	0,00
4	100	165	165,00	0,00	165,00	0,00	126,32	23,44	165,00	0,00	165,00	0,00
5	28	120	0,00	28,00	95,00	5,83	91,87	6,56	120,00	0,00	76,28	10,20
R=800		1045	800,00	55,27	800,00	53,83	800,00	78,78	800,00	57,56	800,00	56,83

В таблиці виділені кінцеві значення функцій використання енергоресурсу споживачами розраховані за різними методами розподілу енергоресурсу.

Висновки:

1. Запропонований метод ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс по показниках сумарних втрат уступає методу аукціону, але при цьому показує кращі результати в порівнянні з методами прямих і зворотних пріоритетів.
2. Будь-які методи, засновані на принципі, аукціону мають істотний недолік: при розподілі ресурсу деяким споживачам зовсім не виділяється ресурс.
3. У запропонованого методу ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс цей недолік відсутній, що робить цей метод актуальним і необхідним на сьогоднішній день.