

УДК 621.311.1

**В.П. Калінчик, доц., канд. техн. наук, В.П. Розен, проф., канд. техн. наук,****А.В. Скачок, магістр***Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»*

## Метод розподілу енергоресурсу між споживачами

В статті описаний метод розподілу енергоресурсу за процедурою ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс. Ранжування споживачів здійснюється за показником відношення коефіцієнта втрат до представленої заявки на ресурс. У споживача з найменшим показником від поданої заявки віднімається дефіцит ресурсу. Розрахунок продовжується до тих пір, поки за рахунок поступового зменшення заявок на ресурс не буде ліквідований дефіцит потужності в енергосистемі

**енергосистема, електроенергія, потужність, споживач, енергоресурс**

**Вступ.** У комплексі «Енергосистема - споживач» можлива ситуація, в 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 задача розподілу активної електричної потужності та енергії є особливо актуальною. Її суть зводиться до розподілу ресурсу ( $P, W$ ) між споживачами таким чином, щоб в результаті досягався мінімум втрат для системи в цілому [1].

**Постановка завдання.** В рамках поставленої задачі розглянемо наступну модель [2,3]. Система розподілу ресурсів електричної потужності й енергії включає в себе центральний плановий орган (ЦПО) та «підлеглих» йому  $i$ -тих споживачів енергоресурсу  $P, W$  - виробничої системи.

В кожний плановий період ЦПО має у розпорядженні запас ресурсу  $P, W$  в кількості  $R$ , який видає кожному  $i$ -му споживачеві в кількості, відповідно до запиту на ресурс  $s_i$  і з урахуванням питомої шкоди від недоотримання енергоресурсу  $A_i$ .

Ефективність використання енергоресурсу споживачем характеризується функцією  $F_i(s_i, A_i)$ , яка виражає збиток  $A_i$   $i$ -го споживача від недоотримання ресурсу  $s_i = P$  або  $s_i = W$ . Мета ЦПО полягає в зведенні до мінімуму сумарного збитку системи  $F$ :

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

**Аналіз існуючих методів розподілу ресурсів.** На даний момент існує безліч різних методів розподілу ресурсу між споживачами [4,5]. Розглянемо основні з них:

**Метод аукціону.** При розподілі ресурсу за принципом Аукціону вибудовується варіаційний поділ споживачів за величиною деякого показника, залежного в загальному випадку від питомої шкоди від недоотримання ресурсу, а також величини запиту. В першу чергу ресурс  $P, W$  виділяється користувачу з максимальним показником пріоритету в кількості рівному запиту, потім користувачеві, наступному у зворотному ряді, і т.д. У разі рівних показників пріоритетів у декількох споживачів, ресурс розподіляється між ними прямо пропорційно запиту  $s_i$ .

Метод прямих пріоритетів. При розподілі ресурсу методом прямих пріоритетів застосовується наступний принцип:

$$X_i = \left\{ \begin{array}{l} s_i, \text{ якщо } \sum_{i=1}^n s_i \leq R, \\ \min \left[ s_i, \frac{s_i}{\sum_{i=1}^n s_i} R \right], \text{ якщо } \sum_{i=1}^n s_i > R \end{array} \right\}. \quad (2)$$

Метод зворотних пріоритетів. У даному методі за коефіцієнт втрат слід прийняти величину  $A_i/s_i$  і розподілити ресурс за правилом:

$$X_i = \left\{ \begin{array}{l} s_i, \text{ якщо } \sum_{i=1}^n s_i \leq R, \\ \min \left[ s_i, \frac{A_i/s_i}{\sum_{i=1}^n A_i/s_i} R \right], \text{ якщо } \sum_{i=1}^n s_i > R \end{array} \right\}. \quad (3)$$

При аналізі практичних результатів розподіл ресурсу  $P, W$  за даним методом виявлено 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. Спочатку розподіл  $P, W$  проводиться згідно (2). 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 частину ресурсу  $P, W$ ), та до решти споживачів застосовується наступне правило:

$$X_i = \min \left[ s_i, (R - \sum_{i \in K_1} s_i) \frac{A_i/s_i}{\sum_{i \in K_1} A_i/s_i}, i \notin K_1 \right]. \quad (4)$$

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

Метод ітераційного розподілу енергоресурсу. Пропонується метод розподіл енергоресурсу за процедурою ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс. Ранжування споживачів за показником відношення коефіцієнта втрат до представленої заявки на ресурс  $A_i/s_i$ . У споживача з найменшим показником  $A_i/s_i$  від поданої заявки віднімається дефіцит ресурсу, якого не вистачає в енергосистемі:

$$s_{\min 1} = \sum_{i=1}^n s_i - R. \quad (5)$$

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 першим споживачем заявка на ресурс зменшується рівно настільки, щоб його показник відношення коефіцієнта втрат до представленої заявці став рівним показнику наступного споживача:

$$s_{\min 1} = A_{\min 1} / (A_{\min 2} / s_{\min 2}). \quad (6)$$

Після чого процедура повторюється, але вже по відношенню до 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: 
$$s_1 = s_{\min 1} - \frac{s_{\min 1} (\sum_{i=1}^n s_i - R)}{s_{\min 1} + s_{\min 2}},$$

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

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

Схема розрахунку розподілення енергоресурсу методом ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс показана на рис. 1.



Рисунок 1 – Схема розрахунку методом ітераційного розподілу енергоресурсу

Таблиця 1 – Розрахунок розподілення енерго ресурсу методом ітераційного розподілу

Маємо 5 споживачів. Збиток і заявка вказані в табл.1.  $R = 70000$ 

№ споживача	$A_i$	$s_i$	$A_i / s_i$	$\sum s_i - R$	$x_i$ (тестове)	$A_i / s_i$ (тестове)
Початкові дані						
1	157	2500	0,0628			
2	4830	32400	0,149074			
3	4100	34500	0,118841			
4	1560	7000	0,222857			
5	2280	14200	0,160563			
		$\sum s_i = 90600$		20600		
1-а ітерація						
1	157	1321,098	0,118841		604,84	0,259573
2	4830	32400	0,149074		32400,00	0,149074
3	4100	34500	0,118841		15795,16	0,259573
4	1560	7000	0,222857		7000,00	0,222857
5	2280	14200	0,160563		14200,00	0,160563
		$\sum s_i = 89421,1$		19421,1	70000	
2-а ітерація						
1	157	1053,168	0,149074		843,1385	0,186209
2	4830	32400	0,149074		25938,59	0,186209
3	4100	27503,11	0,149074		22018,27	0,186209
4	1560	7000	0,222857		7000	0,222857
5	2280	14200	0,160563		14200	0,160563
		$\sum s_i = 82156,27$		12156,27	70000	
3-я ітерація						
1	157	977,807	0,160563		<b>870,1504</b>	0,180429
2	4830	30081,58	0,160563		<b>26769,6</b>	0,180429
3	4100	25535,09	0,160563		<b>22723,67</b>	0,180429
4	1560	7000	0,222857		<b>7000</b>	0,222857
5	2280	14200	0,160563		<b>12636,58</b>	0,180429
		$\sum s_i = 77794,47$		7794,474	70000	

Виділений шрифтом в таблиці вказані кінцеві дані розподіленого ресурсу між споживачами.

Таблиця 2 - Порівняльна таблиця результатів модельних розрахунків різними методами задачі розподілення потужності в енергосистемі

Номер споживача	Вихідні дані		Метод аукциону				Метод прямих пріоритетів		Метод зворотніх пріоритетів		Авторський метод	
			$Q(A_i)$		$Q(A_i / s_i)$		$x_i$	$F$	$x_i$	$F$	$x_i$	$F$
	$A_i$	$s_i$	$x_i$	$F$	$x_i$	$F$						
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

## **Висновки:**

У ситуації дефіцитної енергосистеми, завдання розподілу активної електричної потужності та енергії є особливо актуальною, і може бути вирішена за рахунок застосування математичних апаратів і методів розподілу енергоресурсу. У цих умовах запропонований метод ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс за показниками сумарних втрат показує кращі результати в порівнянні з методами прямих і зворотних пріоритетів. При цьому запропонований метод не має суттєвих недоліків, які присутні в методах розподілу ресурсу заснованих на принципах аукціону, а саме: при розподілі ресурсу методами аукціону, деяким споживачам не виділяється ресурс зовсім, фактично вирішуючи проблему дефіциту енергоресурсу за рахунок окремих споживачів.

## **Список літератури**

1. Праховник А.В. Управление электропотреблением (концепция, методы, средства) // Праховник А.В. - Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1990. — №1. — С. 6 — 15.
2. В.П. Калінчик. Прогнозування електричного навантаження промислових об'єктів / В.П. Калінчик, І.В. Калінчик, А.Д. Лук'янчук, А.О. Ткачук ; НТУУ «КПІ» Н.-д. ін-т автоматики та енергетики «Енергія». - Київ : [б. и.], 2009. - 7 с.
3. Праховник А.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий// Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. — М.: Недра, 1985. — 232. с.
4. А.В. Праховник. Модель та методи оптимізації і керування режимами систем електропостачання: Монографія / А.В. Праховник, П.Я. Екель, А.Ф. Бондаренко. — К.: ІСДО, 1994. — 104 с.
5. В.П. Калінчик. Оптимальне управління електричним навантаженням / В.П. Калінчик, І.В. Калінчик, А.Д. Лук'янчук, А.О. Ткачук ; НТУУ «КПІ» Н.-д. ін-т автоматики та енергетики «Енергія». - Київ : [б. и.], 2009. - 12 с.

*В.Калінчик, В.Розен, А.Скачок*

### **Метод распределения энергоресурса между потребителями**

В статье описан метод распределения энергоресурса по процедуре итерационного пропорционального уменьшения заявки на ресурс. Ранжирование потребителей осуществляется по показателю отношения коэффициента потерь к представленной заявке. У потребителя с наименьшим показателем от поданной заявки отнимается дефицит ресурса. Расчет продолжается до тех пор пока, за счет постепенного уменьшения заявок на ресурс не будет ликвидирован дефицит мощности в энергосистеме.

∞

*V.Kalinchik, V.Rozen, A.Skachok*

### **Energy distribution method between the consumers**

The article describes method of distributed energy resources on the procedure of the iterative scaling down an application for a resource. Ranking the consumers are in terms of the ratio of the loss to the submitted application. The customer with the lowest of the application as filed subtracted deficit resource. Calculation continues until, by gradually reducing the applications for resource will not eliminate the deficit in the power grid.

Одержано 20.09.12