

ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ

УДК 621.311

МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

В. П. Розен, канд. техн. наук (НТУУ «КПИ»)

Наведено результати досліджень планування розподілу електричної потужності і енергії у виробничих системах. Розглянуто моделі пропорційного, обернено пропорційного розподілу ресурсів, а також моделі Аукціона. Отримані результати дозволяють знайти оптимальну модель планування ресурсів.

Задача распределения активной электрической мощности и энергии в производственных системах является особенно актуальной при структурной перестройке энергетики, и ее решение в большинстве случаев понимается как решение задачи в оптимальной постановке на основе энерго-экономической информации, которая считается известной, достаточной и достоверной [1]. Однако при решении задач не учитывается наличие у потребителей электроэнергии собственных интересов. Вследствие естественного несовпадения интересов участников комплекса энергосистема–потребитель у центрального планирующего органа (ЦПО) создаются ложные представления о системе распределения. Отсутствие у ЦПО достоверной информации при распределении электрической мощности и электроэнергии (ресурсы P , W) приводит к значительным экономическим потерям. Потребителям, как правило, известны принципы распределения P , W на основе поступающей в ЦПО информации. Более или менее широкие возможности в предоставлении ЦПО недостоверной информации, способность потребителей работать в диапазоне ниже предельного являются теми степенями свободы, которые каждый отдельный потребитель может использовать для достижения собственных интересов. В результате в комплексе энергосистема–потребитель особое значение приобретают межэлементные связи: действие каждого потребителя влияет не только на его собственный выигрыш, но и на выигрыш других потребителей, то есть функционирование комплекса можно рассматривать как игру, в которой ЦПО является метаигроком, выбирающим принцип распределения P , W и тем самым задающим правила игры. Задачу управления

системой здесь можно понимать следующим образом. ЦПО стремится выбрать такой тип распределения P, W , чтобы в результате решения рассматриваемой игры достигался минимум потерь для системы в целом.

В рамках поставленной задачи рассмотрим следующую модель. Система состоит из ЦПО и “подчиненных” ему j -тых потребителей ресурса P, W .

В каждый плановый период ЦПО располагает запасом ресурса P, W в количестве R , который выдает каждому j -му потребителю в количестве, соответствующем запросу на ресурс R_j и коэффициенту важности потребителя a_j , с учетом удельного ущерба от недоотпуска ресурса y_j . Коэффициент важности потребителя $a_j = R_{\text{авар},j}/R_j$, где $R_{\text{авар},j}$ – аварийное наименьшее допустимое значение выделяемого ресурса P, W .

Эффективность использования ресурса потребителем характеризуется функцией $F_j(x_j, y_j)$, которая выражает ущерб y_j j -го потребителя от недополучения ресурса $x_j = P$ или $x_j = W$. Цель ЦПО состоит в сведении к минимуму суммарного ущерба системы F :

$$F = \sum_{j=1}^n F_j(x_j, y_j) \rightarrow \min;$$

$$\begin{aligned} \text{дефицитная система} \quad & \sum_{j=1}^n R_j > R; \quad \sum_{j=1}^n x_j = R; \\ \text{недефицитная система} \quad & \sum_{j=1}^n x_j \leq R_j; \quad \sum_{j=1}^n x_j < R; \\ & j = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (1)$$

Несмотря на кажущуюся простоту формулировки, задача не всегда может быть решена методами математического программирования, так как задачу (1) приходится решать в условиях отсутствия достоверной информации об эффективности использования ресурса потребителями $F_j(x_j, y_j)$ и при наличии индивидуальных интересов у потребителей, направленных на оптимизацию собственных целевых функций.

При распределении ресурса по принципу Аукциона [2] выстраивается вариационный ряд потребителей по величине некоторого показателя $Q(a_j, y_j, R_j)$, зависящего в общем случае от коэффициента важности потребителя, удельного ущерба от недоотпуска ресурса, а также величины запроса. В первую очередь ресурс P, W выделяется пользователю с максимальным показателем приоритета в количестве, равном запросу, затем пользователю, следующему в убывающем ряду, и т. д. В случае равных показателей приоритетов у нескольких потребителей и дефицита ресурса он распределяется между ними прямо пропорционально запросам R_j . В качестве показателя приоритета можно брать $Q(a_j, y_j)$, $Q(a_j, y_j, R_j)$, $Q(a_j, y_j/R_j)$. Однако,

несмотря на простоту реализации (в том числе программное обеспечение), принцип Аукциона не всегда удовлетворяет всем выдвигаемым требованиям.

Наиболее распространенной в настоящее время является процедура, когда ресурс распределяется прямо пропорционально “прямым” приоритетам $Q(a_j, y_j)$ j -х потребителей. Если не рассматривать вопрос о способе выбора весовых коэффициентов важности потребителя, то может показаться, что задача опускается до тривиального, простейшего уровня и представляется исчерпанной, но это не так. Анализ недостатков реальных систем, использующих принцип прямо пропорционального распределения, свидетельствует о наличии серьезных нерешенных проблем. Поэтому для придания системе большей гибкости учитываются также запросы потребителей на ресурс и организуется пропорциональное распределение P, W с поправками на весовые коэффициенты приоритета.

Для практического использования применяется следующий принцип пропорционального распределения:

$$X_i = \left\{ \begin{array}{l} R_i, \text{ если } \sum_{j=1}^n R_j \leq R, \\ \min \left[R_i, \frac{a_i y_i R_i}{\sum_{i=1}^n a_i y_i R_i} R \right], \text{ если } \sum_{j=1}^n R_j > R \end{array} \right\}, j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Однако эта система является устойчивой не во всех случаях. Существенные преимущества по сравнению с рассмотренными принципами Аукциона и пропорционального распределения имеет принцип распределения, названный принципом обратных приоритетов. В данном случае в качестве коэффициента потерь следует принять величину $a_j y_j / R_j$ и распределить ресурс по правилу

$$X_i = \left\{ \begin{array}{l} R_i, \text{ если } \sum_{j=1}^n R_j \leq R, \\ \min \left[R_i, \frac{a_i y_i / R_i}{\sum_{i=1}^n a_i y_i / R_i} R \right], \text{ если } \sum_{j=1}^n R_j > R \end{array} \right\}, j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

При анализе практических результатов распределения ресурса P, W по последнему выражению выявляется следующий недостаток: из-за наличия

потребителей, имеющих относительно высокий коэффициент потерь $a_i y_i / R_i$ и малую величину запроса, может возникнуть некоторая нераспределенная величина ресурса P, W при учете ограничения $R_j \geq x_j$, что в условиях дефицита ресурса является недопустимым. Для устранения этого недостатка необходимо применять итерационный, многошаговый принцип обратных приоритетов. Первоначально распределение P, W производится согласно (3). На первом шаге из множества индексов $j = \overline{1, n}$ выделяется подмножество элементов K_1 , для которых $V_i(R_j) \geq R_i$, где

$$V_i^{(1)}(R) = \frac{a_i y_i / R_i}{\sum_{j=1}^n a_j y_j / R_j} R. \quad (4)$$

Элементом с номером $i \in K_1$ выделяется ресурс в количестве $x_i = R_i$. На втором шаге из рассмотрения исключается подмножество элементов K_1 (так же, как и распределенная им часть ресурса P, W), и к оставшимся потребителям применяется правило (3), то есть

$$x_i = \min \left\{ R_i, V_i^{(2)}(R) \right\}, \quad (5)$$

где

$$V_i^{(2)}(R) = \left(R - \sum_{j \in K_1} R_j \right) \frac{a_i y_i / R_i}{\sum_{j \notin K_1} a_j y_j / R_j}, \quad i \notin K_1.$$

Аналогичным образом выделяется подмножество элементов K_2 . На третьем шаге из рассмотрения исключается подмножество потребителей $(K_1) \cup (K_2)$. Далее процедура продолжается аналогично и заканчивается за конечное число итераций. Понятно, что если сумма $R_j > R$, на последнем шаге остаток ресурса между потребителями последней группы не будет делиться по обратным приоритетам, то есть $x_i = V_i(K)(R_j)$, где K – число итераций. Следовательно, ресурс P, W будет распределяться полностью не только в равновесии, но и в любой точке B (имеется в виду ситуация дефицита).

В табл. 1, 2 приведены результаты модельных расчетов различными методами распределения мощности в энергетической системе для десяти предприятий.

Таким образом, наилучшие результаты по критерию минимизации ущерба при распределении дефицитного ресурса R , которым является активная электрическая нагрузка P и электроэнергия W , как в энергосистемах, так и в системах электроснабжения предприятий, при условии неполной информированности ЦПО о достоверных потребностях потребителей в ресурсе, показал метод многошагового принципа обратных приоритетов.

Таблица 1. Распределение ресурса по принципу Аукциона

Номер потребителя	Исходные данные распределения						Аукцион					
	y_i	R_i	$R_{\text{авар.}i}$	$\alpha_i = R_{\text{авар.}i}/R_i$	x_i	φ_i	$Q(\text{ав})$	x_i	φ_i	$Q(\text{ав})/R_i$	x_i	φ_i
1	157	2500	250	0,1	0	157	0	157	0	157	2500	0
2	4830	32400	21000	0,65	32400	000	32400	000	32400	000	32400	0
3	4100	34500	1730	0,05	34500	0	34500	0	34500	0	22800	1390,4
4	1560	7000	700	0,1	7000	0	7000	0	7000	0	7000	0
5	2280	14200	2130	0,15	14200	0	14200	0	14200	0	14200	0
6	780	2800	140	0,05	0	780	0	780	0	780	2800	0
7	585	6400	1280	0,2	0	585	0	585	0	585	6400	0
8	1623	16500	1650	0,1	16500	0	16500	0	16500	0	16500	0
9	268	3500	180	0,05	0	268	0	268	0	268	0	268
10	217	2600	130	0,05	0	217	0	217	0	217	0	217
Сумма		122400			104600	2007		2007		2007		1875,4

Таблица 2. Распределение ресурса по прямо- и обратно пропорциональному принципу

Номер потребителя	Исходные данные распределения						Прямо пропорциональное распределение			Обратно пропорциональное распределение		
	y_i	R_i	$R_{\text{авар.}i}$	$\alpha_i = R_{\text{авар.}i}/R_i$	x_i	φ_i	x_i	φ_i	x_i	φ_i	x_i	φ_i
1	157	2500	250	0,1	391	132,5	2500	2500	2500	0	2500	0
2	4830	32400	21000	0,65	32400	0	32400	32400	32400	0	32400	0
3	4100	34500	1730	0,05	5105	3493,3	5105	3493,3	3023	3740,7	7000	0
4	1560	7000	700	0,1	3884	694,4	3884	694,4	7000	0	7000	0
5	2280	14200	2130	0,15	8516	912,6	8516	912,6	12255	312,3	12255	312,3
6	780	2800	140	0,05	971	509,5	971	509,5	2800	0	2800	0
7	585	6400	1280	0,2	2913	318,7	2913	318,7	6400	0	6400	0
8	1623	16500	1650	0,1	4041	1225,5	4041	1225,5	5008	1130,4	5008	1130,4
9	268	3500	180	0,05	334	242,4	334	242,4	1949	118,8	1949	118,8
10	217	2600	130	0,05	270	194,5	270	194,5	2122	39,9	2122	39,9
Сумма		122400			58825	7723,4	58825	7723,4	75457	5342,1	75457	5342,1

1. Праховник А. В., Розен В. П., Делтерев В. В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. – М.: Недра, 1985. – 232 с.
2. Головкин П. И. Энергосистема и потребители электрической энергии. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 360 с.
3. Гордеев В. И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.
4. Бурков В. Н. Основы математической теории активных систем. – М.: Наука, 1977 – 353 с.

УДК 621.314.214

АНАЛІЗ ТА ЧИСЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МУЛЬТИПЛІКАТИВНОЇ МОДЕЛІ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

В. М. Миколаєнко, інж. (ІЕЕ НТУУ “КПІ”)

Выполнен анализ и численное исследование мультипликативной модели графиков электрических нагрузок угольных шахт Львовско-Вольнского бассейна, предприятий химического машиностроения. Проведен сравнительный анализ мультипликативной модели с моделями в виде полинома n -ной степени, разложения в ряд Фурье и модели, полученной методом группового учета аргумента.

Незважаючи на те, що існує багато методів розрахунку електричних навантажень [1], в практиці проектування систем електропостачання застосовується лише їх незначна кількість. В першу чергу це пояснюється відсутністю необхідної для розрахунків вихідної інформації, а також різними умовами формування вихідної бази. Крім того, всі ці методи базуються на основних припущеннях, які часто є необґрунтованими. Основні з них:

графіки електричного навантаження (ГЕН) підкоряються виключно нормальному закону розподілу;

ГЕН описують стаціонарний випадковий процес.

Аналіз задач проектування систем електропостачання показує, що значна кількість припущень та спрощень в методах їх розв'язання є наслідком неадекватного опису моделей ГЕН, спроб вирішити складні задачу теорії електропостачання простими методами.

Сьогодні для моделювання ГЕН промислових підприємств найчастіше застосовуються:

моделі, що описують детермінований періодичний процес;

моделі, що описують стаціонарний випадковий процес;