УДК 621.311

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЯДА МОЩНОСТЕЙ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОАГРЕГАТОВ В СЛУЧАЕ ОТСУТСТВИЯ АГРЕГАТОВ БОЛЬШИХ МОЩНОСТЕЙ

А.Б. Кульчицкий
(Электротехническая служба ВС Украины, Киев)

Рассматривается метод решения задачи выбора оптимального ряда мощностей автономных электроагрегатов при наличии дополнительных затрат, связанных с отсутствием агрегатов больших мощностей.

оптимальный ряд, мощность, автономный электроагрегат

Введение. Технико-экономические показатели комплексов вооружения и военной техники существенно зависят от характеристик источников электрической энергии. В связи с этим задача определения оптимального типажа и ряда мощностей электроагрегатов представляется актуальной. В настоящей статье рассматривается возможный подход к решению задачи выбора оптимального ряда мощностей автономных электроагрегатов при наличии дополнительных затрат в случае отсутствия агрегатов больших мощностей.

Анализ литературы. Методы решения задач выбора мощностей источников электрической энергии изложены в работах [1 – 5], где рассматриваются математические модели и обосновываются способы выбора перспективного ряда мощностей источников электрической энергии для образцов вооружения и военной техники.

Простейшим видом задачи выбора оптимального ряда мощностей x_k автономных электроагрегатов является одномерная задача вида [2]

$$S_M = \sum_{i=1}^{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left[F(x_{k+1}) - F(x_k)\right] \cdot M_i \cdot C_{пi}(x_{k+1}) + \\ + \sum_{i=1}^{N} \sum_{k=0}^{N-1} C_{pi}(x_{k+1}) + \sum_{i=1}^{N} X_i T_i \int_0^T \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} \left[F(x_{k+1}) - F(k)\right] \cdot M_i \cdot C_{эi}(x_{k+1}, t) \right\} dt. \quad (1)$$

где S_M – суммарные затраты, связанные с созданием и эксплуатацией N типов электроагрегатов, не учитывая их выход из строя по мере эксплуатации; $F(x_{k+1}) - F(x_k)$ – интегральная функция распределения мощности в диапазоне мощностей от x_k до x_{k+1}; $C_{пi}(x_{k+1})$ – функция стоимости производства электроагрегатов i-го типа $k+1$-го диапазона мощности; $C_{pi}(x_{k+1})$ – функция стоимости разработки, испытаний и постановки на производство электроагрегатов i-го типа $k+1$-го диапазона мощности; $C_{эi}(x_{k+1})$– функция стоимости эксплуатации или хранения электроагрегатов i-го типа $k+1$-го диапазона мощности; N – число типов электроагрегатов, равное числу диапазонов мощностей; $M=\sum\limits_{i=1}^{N} M_i$ – общее число агрегатов; M_i – число агрегатов i-го типа; T – плановый период эксплуатации системы электроснабжения.

Основной материал. В ранее опубликованных работах рассматривались случаи, когда электроагрегат данного типа может применяться только в диапазонах мощностей, где их значения для агрегата k-го типа должны быть больше x_{k-1} и меньше или равным x_k.

На практике может встретиться случай, когда выполнение данного условия не будет обязательным. Например, электроагрегат с максимальной мощностью 100 кВт может обеспечивать потребителей, требующих более высокую потребляемую мощность. Это может быть достигнуто либо за счет работы электроагрегата с перегрузкой, либо за счет параллельной работы агрегатов. Использование каждого из этих вариантов связано с дополнительными затратами $C_Д$. Будем по-прежнему обозначать значение мощности, характеризующей данный тип, как x_k. Значение мощности, до которой возможно применять данный тип электроагрегата, обозначим z_k.

С учетом дополнительных затрат $C_Д$, формулу (1) для агрегатов одного типа запишем следующим образом

$$S_M=\sum_{k=0}^{N-1}\left[F(z_{k+1})-F(z_k)\right]C_п(x_{k+1})+\sum_{k=0}^{N-1}C_p(x_{k+1})+$$
$$+\int_0^T\left\{\sum_{k=0}^{N-1}\left[F(z_{k+1})-F(z_k)\right]C_э(x_{k+1},t)\right\}dt+\int_0^T\left\{\sum_{k=0}^{N-1}\int_{x_k}^{z_k}\varphi(x)C_д\left(\frac{z}{x_k},t\right)dx\right\}dt. \qquad (2)$$

Последнее слагаемое в (2) – дополнительные затраты.

Задача состоит в определении такого набора x_k, z_k при котором S_N достигает минимума. Она может быть решена методом случайного поиска в следующей последовательности:

1) задаемся N;

2) получаем $N-1$ случайных чисел из совокупности значений мощности, распределенных от 0 до z_k. Добавляя к ним z_k и располагая их в порядке возрастания, получаем предварительный ряд z_k;

3) поступая аналогично, но для диапазона мощностей от 0 до x_k, получаем предварительный ряд x_k;

4) меняя местами значения x_k и z_k из предварительных рядов таким образом, чтобы $z_k \ge x_k$, получаем окончательные ряды x_k и z_k для данной попытки и проводим вычисления S_M;

5) многократно повторяем цикл с п. 2 до п. 4, запоминая лучший по S_N вариант;

6) сравниваем полученные результаты с относящимися к случаю $z_k = x_k$.

Рассмотрение практических примеров показывает, что $C_д(z/x_k)$ может иметь два различных характера.

В первом случае это ступенчатая функция:

$$C_д(z/x_k) = 0 \quad \text{при} \quad z/x_k \le 1; \qquad C_д(z/x_k) = C_д^* \quad \text{при} \quad 1 \le z/x_k \le 2;$$
$$C_д(z/x_k) = nC_д^* \quad \text{при} \quad n \le z/x_k \le n+1. \tag{3}$$

Во втором случае это функция следующего вида:

$$C_д(z/x_k) = 0 \quad \text{при} \quad z/x_k \le 1; \quad C_д(z/x_k) = k_д(z/x_k - 1) \quad \text{при} \quad z/x_k \ge 1. \tag{4}$$

Нетрудно видеть, что второй случай является предельным по отношению к первому при $n \to \infty$.

В первом случае может быть использован следующий эвристический метод решения задачи. Из интуитивных соображений ясно, что z_k/x_k будет целым числом. Тогда формула (2) перепишется следующим образом

$$\begin{gathered} S_M = \sum_{k=0}^{N-1} \left[F(n_{k+1}x_{k+1}) - F(n_k x_k)\right] \left[C_п(x_{k+1}) + \int_0^T C_э(x_{k+1})dt\right] + \\ + \sum_{k=0}^{N-1} C_p(x_{k+1}) + \sum_{k=0}^{N-1} \left[F(n_k x_k) - F(x_k)\right] \int_0^T C_д^* dt. \end{gathered} \tag{5}$$

Теперь при фиксированном n задача сведена к одномерной задаче выбора оптимального ряда, которая решается методами, изложенными в [1 – 5]. Задаваясь значениями n и сочетаниями этих величин, останавливаемся на том сочетании, при котором S_N минимальна.

Во втором случае уравнение (2) перепишем следующим образом

$$\begin{gathered} S_M = \sum_{k=0}^{N-1} \left[F(z_{k+1}) - F(z_k)\right] \left[C_п(x_{k+1}) + \int_0^T C_э(x_{k+1})dt\right] + \sum_{k=0}^{N-1} C_p(x_{k+1}) + \\ + \sum_{k=1}^{N-1} \int_{x_k}^{\nu x_k} \varphi(x) \left(\frac{x}{x_k} - 1\right) dx \int_0^T k_д dt, \end{gathered} \tag{6}$$

где
$$\nu = z_k/x_k. \tag{7}$$

Если принять во внимание, что ν не является дискретной величиной, задача становится достаточно сложной. Одним из возможных методов ее решения является последовательный поиск по ν при решении задачи выбора оптимального ряда для каждого ν.

Рассмотрим простейший случай решения такой задачи. Пусть:

$$F(x)=\begin{cases} bx \quad \text{при} \quad 0 \le x \le x_N; \\ 0 \quad \text{при} \quad x \le 0; \\ bx_N \quad \text{при} \quad x \ge x_N. \end{cases}; \tag{8}$$

$$C_п(x)=ax\ ; \tag{9}$$

$$C_р(x)=cx\ ; \tag{10}$$

$$C_э(x)=ex\ . \tag{11}$$

Тогда
$$\varphi(x)=\begin{cases} b \quad \text{при} \quad 0 \le x \le x_N; \\ \varphi(x)=0 \quad \text{при} \quad x<0 \quad \text{и} \quad x \ge x_N. \end{cases} \tag{12}$$

Требуется выбрать x_k для технического устройства, полагая, что будет иметься всего один тип таких устройств. Очевидно, что в этом случае $z_k=x_N$. Выражение (6) примет следующий вид

$$\begin{aligned} S_N &= bx_N\left(ax_k+\int_0^T ex_k dt\right)+cx_k+\int_{x_k}^{x_N} d\left(\frac{x}{x_k}-1\right)dx\int_0^T k_д dt = \\ &= x_k\left[bx_N(a+eT)+c-\frac{3}{2}bk_дT\right]+\frac{bk_дTx_N^2}{2x_k}-bk_дTx_N. \end{aligned} \tag{13}$$

Дифференцируя по x_k, приравнивая производную нулю и решая полученное уравнение, находим следующую формулу для вычисления оптимальной величины x_k

$$x_k=x_N\sqrt{k_{дT}\Big/\left(x_N(a+eT)+2\frac{c}{b}+2k_дT\right)}. \tag{14}$$

Если в результате расчетов окажется, что $x_k>x_N$, то необходимо принимать $x_k=x_N$.

Пример. Определить оптимальную максимальную мощность электроагрегата, если потребные мощности меняются от 0 до 1000 кВт. Предполагается иметь один тип электроагрегатов; удельная стоимость производства электроагрегатов $a=100$ грн/кВт; удельная стоимость разработки, испытаний и постановки на производство электроагрегатов $c=10000$ грн/кВт; коэффициент функции распределения мощности

$b = 2$ агр./кВт; приведенные эксплуатационные затраты $eT = 50$ грн/кВт; дополнительные затраты за плановый период эксплуатации системы электроснабжения $k_д T = 30000$ грн.

Согласно формуле (14) получаем

$$x_k = 1000\sqrt{3000 \Big/ \left(2 \cdot 1000(100+50) + 2\frac{10000}{2} + 2 \cdot 30000\right)} \cong 280 \text{ кВт.}$$

Выводы. 1. Задача выбора оптимального ряда мощностей автономных электроагрегатов в общем случае относится к классу задач исследования операций.

2. При рассмотрении задачи выбора оптимального ряда мощностей автономных электроагрегатов следует учитывать возможность появления дополнительных затрат, которые возникают в случае, если для удовлетворения требований потребителей будут использоваться электроагрегаты, имеющую мощность меньшую, чем максимальная мощность потребителя.

3. Предложен метод решения задачи выбора оптимального ряда мощностей автономных электроагрегатов при наличии дополнительных затрат.

4. Проанализированы особенности решения задачи методом случайного поиска в зависимости от вида функции дополнительных затрат. Показано, что рассматриваемая задача может быть сведена к одномерной задаче выбора оптимального ряда либо к задаче последовательного поиска при выборе оптимального ряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кононов Б.Т., Кульчицкий А.Б., Кусакин Ю.А. Выбор перспективного ряда мощностей источников электрической энергии для образцов вооружения и военной техники // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2002. – Вип. 1. – С. 174 – 177.*
2. *Кульчицкий А.Б. Задача выбора оптимального ряда (типажа) автономных электроагрегатов // Вісник НТУ „ХПІ”. Тематичний випуск: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – Х.: НТУ „ХПІ”, 2006. – № 7. – 185 с.*
3. *Кульчицкий А.Б. Особенности выбора оптимального ряда мощностей автономных электроагрегатов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 4 (53). – С. 100-109.*
4. *Кульчицкий А.Б. Обобщенная методика решения одномерной задачи выбора оптимального ряда мощностей автономных электроагрегатов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 5 (54). – С. 80-84.*

Поступила 19.05.2006

Рецензент: доктор технических наук, профессор Б.Т. Кононов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.