

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ КАК БОЛЬШОЙ СИСТЕМЫ

Б. И. КУДРИН

(Представлена научным семинаром кафедры электрических систем и сетей)

Пусть  $x$  является элементом множества  $X$   $x \in X$ ,  $y \in Y$  и т. д. и пусть  $\{Z_i\}_n$  — конечная совокупность множеств  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  и  $z_i$  — их элементы,  $i=1, 2, \dots, n$ . Декартово произведение

$$\hat{Z} = \Pi(Z_i \in \{Z_i\}_n / i=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

есть множество упорядоченных последовательностей  $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ , например, всех упорядоченных пар  $z = (x, y)$ , где  $x \in X$ ,  $y \in Y$ .

Введем меру  $f$  взаимодействия элементов  $x$  множества  $X$  и через  $x_1$  обозначим количество элементов, мера взаимодействия которых имеет наибольший порядок  $f(x_1)$ . При количестве элементов  $x_i$ , мера взаимодействия  $f(x_i)$  которых на порядок ниже  $f(x_{i-1})$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ , может быть образована система  $S$ , состоящая из набора элементов  $x_1 + x_2 + \dots + x_k + \dots + x_n$ , где  $k < n$ , которая может быть охарактеризована функционалом

$$S[f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n), x_1, x_2, \dots, x_n]. \quad (2)$$

Изменяя порядок  $k$ , будем получать различные системы. Элементы, не входящие в систему  $S$ , будем называть внешней средой.

Пусть система характеризуется некоторым набором числовых параметров  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , подлежащих статистической оценке, и задан набор показателей эффективности  $y_1, y_2, \dots, y_m$ , зависящий от этих параметров:

$$\begin{aligned} y_1 &= \Phi_1(x_1, x_2, \dots, x_n), \\ y_2 &= \Phi_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \\ &\dots \\ y_m &= \Phi_m(x_1, x_2, \dots, x_n). \end{aligned} \quad (3)$$

Будем считать систему описанной, если для  $X = X(t)$  найдем  $Y = Y(t)$ . Полная характеристика системы как «черного ящика» заключается в указании  $\{f_x(Y)\}$  при всех допустимых входных значениях  $X$ , где  $\{f_x(Y)\}$  означает совокупность всех конечномерных распределений входных параметров  $Y$  при фиксированном  $X$ .



При описании электрического хозяйства как системы могут быть использованы предложенные нами [3] и применяющиеся при проектировании следующие электрические показатели, принимаемые за основные: получасовой максимум нагрузки предприятия  $P_m$ ; коэффициент спроса  $k_c$  — отношение максимальной нагрузки к установленной мощности электроприемников по заводу; годовое число часов использования максимума  $T$  — отношение годового расхода электроэнергии  $A$  по предприятию к максимальной нагрузке (или электропотребление); количество установленных электродвигателей  $n$  и средняя мощность  $P_c$  (условный электродвигатель); электровооруженность труда  $A$  — годовое потребленное количество электроэнергии, приходящееся на одного работающего; производительность электротехнического персонала  $A_n$  — годовое потребленное (распределенное) количество электроэнергии, приходящееся на одного электрика (весь электротехнический персонал по предприятию в целом  $N_э$ ).

Основные электрические показатели вместе с технологическими и технико-экономическими (производство кокса, чугуна, стали, проката, объем капитальных вложений, стоимость вводимых основных фондов, численность промышленно-производственного персонала  $M_k, M_ч, M_c, M_n, K, K_ф, N$ ) образуют Декартово произведение, где величина  $z$  определяется эвристическими методами:

$$\begin{aligned}
 & M_{k1}, M_{k2}, \dots, M_{ki}, \dots, M_{kn}; \\
 & M_{ч1}, M_{ч2}, \dots, M_{чи}, \dots, M_{чn}; \\
 & M_{c1}, M_{c2}, \dots, M_{ci}, \dots, M_{cn}; \\
 & M_{n1}, M_{n2}, \dots, M_{ni}, \dots, M_{nn}; \\
 & K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n; \\
 & K_{ф1}, K_{ф2}, \dots, K_{фи}, \dots, K_{фn}; \\
 & N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_n; \\
 & P_{m1}, P_{m2}, \dots, P_{mi}, \dots, P_{mn}; \\
 & A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n; \\
 & n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_n; \\
 & P_{c1}, P_{c2}, \dots, P_{ci}, \dots, P_{cn}; \\
 & A_{э1}, A_{э2}, \dots, A_{эi}, \dots, A_{эn}; \\
 & A_{п1}, A_{п2}, \dots, A_{пи}, \dots, A_{пn}; \\
 & N_{э1}, N_{э2}, \dots, N_{эi}, \dots, N_{эn}.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Величины, входящие в выражение (4), образуют также последовательность  $T$  фактических результатов наблюдения  $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_T)$ , во времени. Параметры распределения случайной величины  $x(t)$  существенно зависят от момента времени наблюдения  $t$ ; значения  $x(t_i)$  и  $x(t_j)$  в два различных момента времени  $t=t_i$  и  $t=t_j$  взаимозависимы.

Применение корреляционного и регрессионного анализов, в частности, метода многофакторного корреляционного прогнозирования, профессионально-логического анализа прогностических функций [4, 5] с использованием ЭВМ позволило сделать вывод о возможности экстраполяции последовательностей (4) и прогнозирования основных электрических показателей  $Y=Y(t)$  во времени и по заданным технологическим показателям  $X=X(t)$ .



Количественное определение показателей (3) дает возможность перейти к формированию подсистем, которые, с одной стороны, определяются основными электрическими показателями, с другой — набором объектов, образующих систему — предприятие в целом. Эти подсистемы (электроснабжения, обслуживания и др.) имеют последовательно все большую меру взаимодействия элементов (электроснабжение по стороне 220 и 110 кВ, электроснабжение районов, электрооборудование цехов, организация и управление системой электроснабжения, организация ремонта электрических машин и др.) и формирование их определяются известными критериями оптимальности [6, 7]: минимумом проведенных затрат

$$F = \min \sum_i \sum_r (C_i^r + EK_i^r), \quad (5)$$

а при заданном лимите  $K_0$  капитальных вложений — максимумом обеспечения потребностей  $\max \alpha$

$$E = \max \alpha \text{ при } \sum_i \sum_r K_i^r \leq K_0, \quad (6)$$

где  $C_i$  — текущие издержки;  $K_i$  — капитальные вложения;  $E$  — нормативный коэффициент капитальных вложений;  $r$  — индекс технологического варианта;  $i$  — вариант формирования системы.

Методы удельных показателей и методы прямого счета, применяемые при формировании отдельных подсистем электрического хозяйства, следует проверять вероятностно-статистическими методами, учитывая, что вероятность события  $A_i$ , вычисленная при условии, что имело место другое событие  $B$

$$P(A_i/B) = \frac{P_j \prod P_{ij}}{\sum_j P_j \prod P_{ij}} \quad (7)$$

уменьшается с увеличением ступеней иерархии. Отсутствие проверки и соответствующего контроля способствует тенденции к снижению коэффициента спроса по предприятию, которая может быть охарактеризована количеством установленных трансформаторов, приходящихся на I МВА получасового максимума предприятия, и равным для Западно-Сибирского металлургического завода 3,0; Новосибирского — 2,8; Череповецкого — 2,5; Новолипецкого — 2,0.

Отдельные подсистемы электрического хозяйства не могут быть описаны выражениями (1) и (3). В этом случае задача в общем виде может быть сформулирована следующим образом [8].

Пусть задано множество элементарных событий  $X$ , а также  $\sigma$  — алгебра его измеримых подмножеств  $U_x$ . Случайным потоком  $h(A)$  с фазовым пространством  $(X, U_x)$  называется система случайных величин  $h(A)$ , определенных на элементах  $A \subset U_x$ , обладающая следующими двумя свойствами:

- 1)  $h(A)$  — абсолютно аддитивная функция множества  $A$ ;
- 2)  $h(A)$  — принимает лишь неотрицательные целочисленные значения.

В этом случае применима теория массового обслуживания [9, 10]. Систему массового обслуживания применительно к отдельным системам обслуживания электрического хозяйства металлургического предприятия следует охарактеризовать как многофазную многоканальную



систему смешанного типа, состоящую из разнотипных приборов, которые начинают обслуживание в порядке освобождения и в которую поступает неограниченный поток требований, обслуживаемый в порядке очередности поступления с приоритетом части требований.

Сформировавшееся электрическое хозяйство металлургического предприятия, как всякая большая система, характеризуется устойчивостью ряда показателей, живучестью как целого. Пусть каждый элемент  $x \in X$ , причем  $U \subset \dots \subset Y \subset X \subset Z \subset \dots \subset T$ , функционирует в определенных условиях, заданных для  $X$  пределами  $[A_0, A_m]$ , которые можно разбить на  $m$  интервалов — «ящиков»  $[A_0, A_1]$ ,  $[A_1, A_2]$ , ...,  $[A_{m-1}, A_m]$ . Число элементов, располагаемых в  $k$ -ом ящике, обозначим через  $n_k$ , каждому ряду возможных значений  $n_k$  соответствует определенное число способов заполнения ящиков, каждый из которых характеризуется «объемом»  $g_k$ .

Тогда число способов распределения элементов по  $m$  ящикам имеет вид [11]:

$$W(n_1, n_2, \dots, n_m) = \prod_{k=1}^m \frac{(n_k + g_k)!}{n_k! g_k!}. \quad (8)$$

Условия стабильности системы

$$\sum_{k=1}^m n_k = N = \text{const}; \sum_{k=1}^m n_k A_k = A = \text{const}; f(n_k) = \max. \quad (9)$$

Последнее условие означает, что из всех возможных рядов должен реализоваться ряд, которому соответствует максимальное число способов. Формально условия (8) идентичны условиям, сформулированным для статистики Бозе-Эйнштейна.

Покажем наличие устойчивости для сформировавшегося электрического хозяйства. Пусть  $x \in X$  определен количественной и качественной характеристиками [3]. Тогда элемент  $x$ , с одной стороны, представляет единицу (особь) — электродвигатель, трансформатор и т. д., с другой стороны, является типоразмером (видом). Например, типоразмер 28А, куда входят двигатели А71-2, А72-4, А81-6, А82-8; типоразмер трансформатор ТМ1000. За типоразмер для кабелей взят кабель, соединяющий две подстанции, отличающийся сечением, маркой и длиной (дискретность 100 м), например (3×95) ААБ, длина 1600—1700 м.

Рассмотрим все элементы или их представительные выборки, образующие электрическое хозяйство,  $x \in X$  электродвигатели,  $y \in Y$  трансформаторы,  $z \in Z$  кабели и т. д. Образует  $a_i, b_i, c_i$  подмножества  $X_i \subset X; Y_i \subset Y; Z_i \subset Z$ , в которых количество элементов  $x_i, y_i, z_i$  каждого вида численно последовательно равно  $i=1, 2, \dots, k$ . Если  $n_i$  — общее число видов (типоразмеров) в подмножестве (классе)  $a_i$ , то общее число типоразмеров (видов) в системе (выборке)

$$S = \sum_{i=1}^k n_i; \quad (10)$$

количество элементов в классе

$$u_i = a_i n_i; \quad (11)$$

количество элементов в системе (выборке)



$$U = \sum_{i=1}^k a_i n_i; \quad (12)$$

относительная частота появления класса

$$\omega_i = \frac{n_i}{S}. \quad (13)$$

Проведенные автором исследования охватили  $U=27632$  электрических машин,  $S=5618$  типоразмеров, по одному разу  $a_i=1$  оказалось  $n_1=2868$  типоразмеров (12 годовых выборок по металлургическим предприятиям Сибири). Результаты были проверены на Западно-Сибирском металлургическом заводе по установленным трансформаторам  $U=541$ ,  $S=48$  и высоковольтным кабелям  $U=1285$ ,  $S=263$ .

Исследования показали, что формирование электрического хозяйства и отдельных подсистем может быть охарактеризовано имеющей объективный характер закономерностью: счетное множество элементов (особей), которые все могут быть отнесены к некоторому, образующему систему, числу видов одного класса (семейства), и само число видов распределены таким образом, что каждое из большинства видов представлено малым числом элементов; а по мере увеличения количества элементов одного вида — число этих видов сокращается.

Уменьшающееся число видов, при возрастающем количестве элементов в каждом виде, основывается каждый раз последовательно на увеличивающемся числе видов, каждый из которых представлен уменьшающимся до единицы числом элементов.

Эта закономерность может быть представлена в виде

$$\omega_i = k a_i^{-b}, \quad (14)$$

где  $k$ ,  $b$  — постоянные, и имеет аналогии [12], указывающие на общность законов формирования технологических и биологических экосистем. Р. Фишер вместо гиперболы (14) применил логарифмический ряд как сходящийся ряд с конечной суммой, представив частоты распределения видов, содержащих различное число элементов, в виде (нулевой член не включен) [12]

$$n_1, \frac{n_1 x}{2}, \frac{n_1 x^2}{3}, \dots, \frac{n_1 x^{n-1}}{n}. \quad (15)$$

Сумма всех видов и элементов связана с переменной  $x < 1$  следующими выражениями:

$$S = \frac{n_1}{x} (-\ln \overline{1-x}); U = n_1(1-x). \quad (16)$$

Расхождение в предложенной нами закономерности с логарифмическим рядом по всем исследованным выборкам электрических машин не превосходила по видам 1,4%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Куратовский К., Мостовский А. Теория множеств. «Мир», 1966.
2. Бусленко Н. П., Калашников В. В., Коваленко И. Н. Лекции по теории сложных систем. «Советское радио», 1973.



3. Электрификация металлургических предприятий Сибири. Томск, Изд-во ТГУ, 1971.
  4. Айвазян С. А., Френкель А. А. Применение статистических методов в экономике.—«Электротехническая промышленность. Сер. Общеотраслевые вопросы», 1973, № 5 (408), № 6 (409).
  5. Хауштейн Г. Методы прогнозирования в социалистической экономике, М., «Прогресс», 1971.
  6. Методические положения оптимального отраслевого планирования в промышленности. Новосибирск, «Наука», 1972.
  7. Шерман Э. Б., Ширинская Н. Х. Экономико-математическое моделирование задачи развития и специализации трансформаторного производства. — «Электротехническая промышленность. Сер. Общеотраслевые вопросы», 1972, № 10 (391).
  8. Хинчин А. Я. Работа по математической теории массового обслуживания. М., Физматгиз, 1963.
  9. Кудрин Б. И., Борисов Р. И. Применение теории массового обслуживания при проектировании электроремонтных цехов металлургических заводов. — Сб. НВИИ, № 11, физико-математический выпуск. Красноярск, 1971.
  10. Новиков О. А., Петухов С. И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. М., «Советское радио», 1969.
  11. Андреев Н. Б., Бакиров Т. С., Завалишин Н. Н., Ефимов В. М. Распределение организмов стабильного биоценоза по величинам потока энергии. — «Труды IV совещания зоологов Сибири». Новосибирск, 1972.
  12. Williams C. V. Patterns in the Balance of Nature (and Related Problems in Quantitative Ecology). Academic Press London and New York, 1964.
-