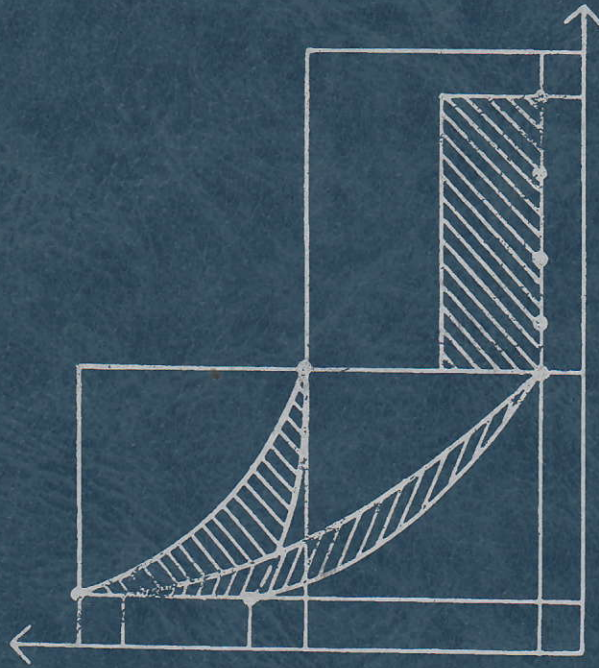


Б.И. Кугрин

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ

Для студентов вузов



ББК 31.29-5
К 88

УДК 629.4.082.3

Рецензенты:

Новочеркасский политехнический институт; зав. кафедрой "Электроснабжение промышленных предприятий и городов", доктор техн. наук, профессор В. И. Гордеев;

Нижегородский политехнический институт; зав. кафедрой электроснабжения лауреат премии АН Украины доктор техн. наук, профессор Г. Я. Вагин

Кудрин Б. И.

К 88 Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 416 с.: ил. ISBN 5-283-00983-1

Освещены вопросы электроснабжения промышленных предприятий при их проектировании, эксплуатации и техническом перевооружении. Подробно рассмотрены расчет электрических нагрузок, выбор электрооборудования, схемы и компоновка подстанций, способы канализации электроэнергии, обеспечение качества электроснабжения и компенсация реактивной мощности, организация электрического хозяйства и управление им. Изложены принципы САПР-электро и состав проектной документации.

Для студентов вузов специальности "Электроснабжение".

К 2202090000 -019 Без объявл.
051 (01) -95

ББК 31.29-5

ISBN 5-283-00983-1

© Автор, 1995

Б.И. Кудрин

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рекомендовано Госкомвузов России в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности "Электроснабжение промышленных предприятий" и "Внутриводское электрооборудование"



МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1995

Трудоемкость работ основных производственных рабочих ЭРЦ определяется выражением

$$T = K_1 K_3 K_5 (a T_k + b T_c) n, \quad (16.2)$$

где K_5 — коэффициент, учитывающий дополнительные трудозатраты на изготовление запасных частей, ремонт низковольтной аппаратуры (значение K_5 может быть принято равным 1,25); a, b — доля выхода в капитальный и средний ремонт от установленного количества электрических машин (рекомендуется $a = 0,08 \div 0,12$; $b = 0,15 \div 0,2$); T_k — трудоемкость ремонта условного электродвигателя ($T_k = 45$ чел-ч; $T_c = 19$ чел-ч, см. табл. 16.1)

Число производственных рабочих определяется на основе планируемого действительного годового фонда времени рабочих $T_{пр} = T/T_{эф}$ (при 24 днях отпуска $T_{эф} = 1820$ ч). Число вспомогательных рабочих $N_{вр}$ принимается в пределах 12–15% числа $N_{пр}$, ИТР — 9–12%, прочих — 1,5–2%.

Распределение основных производственных рабочих по отделениям и участкам ЭРЦ рекомендуется производить в соответствии с распределением трудоемкости по видам работ.

Численность персонала цеха сетей и подстанций принимается для мелких и средних предприятий до 10% общей численности машин $n \leq 30\,000$ — около 9% и для предприятий с большим n — до 7%.

Численность персонала трансформаторно-масляного хозяйства рекомендуется определять прямым счетом по количеству установленных трансформаторов I–III габаритов (см. табл. 16.2).

Общая численность ЦЭТЛ определяется эмпирической зависимостью

$$N_{ЦЭТЛ} = 3,3 K_1 K_2 \sqrt[n]{n}, \quad (16.3)$$

где n — количество установленных машин, тыс. шт. Соотношение ИТР — рабочие может быть принято в пределах от двух до трех и наоборот.

При углублении специализации и для крупных промышленных предприятий на перспективу рекомендуется создание цеха оперативного электроремонта, выполняющего средний и текущий ремонт части оборудования. Штат этого цеха определяется передачей 30–70% ремонтников из соответствующих цехов и производств.

16.5. Оптимизация структуры оборудования, образующего электрическое хозяйство

Рассмотрим подход, изложенный в § 2.4, предложив модель, которая существенно повышает эффективность. В частности, теоретическое значение роста производительности труда при воздействии на

структуру составляет 25–30% при практически легко реализуемом 10–12%. Ключевыми понятиями теории являются: техноноз, ис- следуемое семейство изделий, элемент-особь, вид, каста, ранговое и видное Н-распределение.

Применительно к электрическим машинам будем считать одним видом электрическую машину, имеющую совпадающие количественную и качественную характеристики: максимальную мощность и наименование серии (типа), например вид 28А. В этом случае двигателя А71-2, А72-4, А81-6, А82-8 будут одного вида. Для трансформатора вид — ТМ-1000. Каждый элемент ценоза помечается парой чисел: номером $u = 1, 2, \dots, U$, где U — число элементов-особей одного семейства, образующих перечень особей — текст T , и номером вида $s = 1, 2, \dots, S$, где S — число видов, образующих словарь объемов V . Особи одного вида образуют популяцию. Виды, каждый из которых представлен равным количеством особей, образуют касты, т. е. касту-множество, образующую популяциями одинаковой численности.

Распределение видов — это распределение популяций по кастам. Однозначно описывая соотношения количества видов и численность каждого вида, оно служит теоретической основой предполагаемого подхода. Устойчивость видового распределения дала возможность сделать вывод о действии закона информационного отбора и его объективности. Некоторое идеальное видовое распределение будем называть гиперболическим Н-распределением.

Классификация перечня особей текста T по видам позволяет составить таблицу рангового распределения, где виды располагаются в порядке уменьшения численности их популяций. В табл. 16.5 приведено ранговое распределение $\Lambda(r)$ на примере электродвигателей:

Таблица 16.5. Ранговое распределение изделий-особей по повторяемости

r	u_r	Вид	r	u_r	Вид
1	24	4,5 АО	13	2	30 АО
2	16	2,8 АО	14	1	12 ДП
3	9	1,7 АО	15	1	22 МТ
4	7	10 АО	16	1	100 А
5	5	16 МТВ	17	1	200 П
6	5	1 АРП	18	1	250 СД
7	4	0,6 АОЛ	19	1	7,5 МТГ
8	3	7 АО	20	1	2,2 4А
9	3	6 МД	21	1	5,5 4А
10	2	7,5 АО	22	1	7,5 МТК
11	2	3 АОЛ	23	1	110 П
12	2	1,4 АРФ	24	1	75 МА

u_r — количество особей вида s_r , соответствующее рангу r . Ранг вида s_r есть порядковый номер (номер строки). Последний номер S определяет объем словаря V ; можно записать $V \equiv |S|$. Ранговое распределение выражается в виде зависимости

$$\Lambda(r) = B/r^\beta, \quad (16.4)$$

где $\beta > 0$, $B > 0$ — константы рангового распределения. Очевидно, что длина текста $T = \sum u_r$ и объем словаря $V = \sum s_r$.

Выражение (16.4), известное как закон Ципфа, применимо при исследовании электрических ценозов для удельных и общих расходов электроэнергии, распределения предприятий по максимуму нагрузки, количеству электродвигателей и т. д. Ранговое распределение преобразуется в видовое, которое, как правило, позволяет сделать больше содержательных выводов и служит основой модели управления структурной установочного оборудования.

Таблица видового распределения может быть получена из текста непосредственно, если выбрать вначале все популяции, состоящие из одной особи $a_1 = 1$; они образуют первую касту $k = 1$, общее число видов в которой $w_1 = 11$ (табл. 16.6), численность особей в касте $a_1 w_1 = 11$. Затем выбирают все виды, представленные двумя особями: $k = 2$, $a_2 = 2$, $w_2 = 4$, $a_2 w_2 = 8$; затем — тремя и т. д. Последовательность w_i называется эмпирическим видовым распределением $\Omega(w_i)$. Число строк в табл. 16.6 равно числу каст k . Обозначим через N_0 суммарную мощность популяции.

Запишем на основе табл. 16.6 очевидные соотношения для объема словаря

$$V = |S| = \sum_{i=1}^{N_0} w_i, \quad (16.5)$$

длина текста

$$T = |U| = \sum_{i=1}^{N_0} i w_i \quad (16.6)$$

и относительной частоты появления касты, определяемой эмпирически $\omega_i = w_i/V$ и описываемой непрерывной кривой

$$\omega = A/x^a, \quad (16.7)$$

где $1 > A > 0$, $a > 0$ — константы.

Видовое распределение отличается характером изменения w_i . Достаточно полно распределение описывается обобщающими показателями S , U , k , w_1 , N_0 . Устойчивую зависимость показывают $w_1(S)$,

Таблица 16.6. Видовое распределение численности популяций по кастам

k	$a_i = i$	w_i	$a_i w_i$	ω	Перечень видов
1	1	11	11	0,4582	12 ЛП; 22 МТ; 100 А; 200 П; 250 СД; 7,5 МРТ; 2,2 4А; 5,5 4А; 7,5 МТК; 110 П; 75 МА
2	2	4	8	0,1667	7,5 АО; 3 АОЛ; 1,4 АРФ; 30 АО
3	3	2	6	0,0833	7 АО
4	4	1	4	0,0417	0,6 АОЛ
5	5	2	10	0,0833	16 МТВ; 1 АРП
6	7	1	7	0,0417	10 АО
7	9	1	9	0,0417	1,7 АОС
8	16	1	16	0,0417	2,8 АО
9	24	1	24	0,0417	4,5 АО
Всего		$s = 24$	$u = 95$	1,0000	

$S(U)$, $\Omega(X)$. Непрерывная кривая распределения, используемая в качестве аппроксимирующей зависимости при обработке эмпирических распределений (рис. 16.2),

$$\Omega(X) = W_0/X^{1+\alpha}, \quad (16.8)$$

где $X \in [1, \infty)$ — непрерывный аналог мощности популяции i ; $\alpha > 0$ — постоянная распределения (характеристический показатель); $W_0 = AS$, $W_1 = [W_0]$, где

$$A = \left(\sum_{i=1}^{\infty} i^{-(\alpha+1)} \right)^{-1} \quad (16.9)$$

— постоянная распределения, определяемая из условий нормировки.

Ряд $W(i)$ хорошо аппроксимируется (16.8) на отрезке $[U, R]$ непрерывной кривой $\Omega(x)$, где $i = 1, 2, \dots, R$ — целочисленные значения X , $i = |X|$, $R_i = |R|$. Рисунок позволяет ввести важное понятие: особую точку, поинтер-точку R .

Всегда $\Omega(x) > 1$ или $\Omega(x) < 1$. Лишь в точке R $\Omega(x) = 1$. Слева от поинтер-точки $i < R$ находятся касты, в общем случае неоднородные, которые образованы многими видами, справа — однородные.

Если взять $\int \Omega(x) dx$ и уменьшать x , то в какой-то точке a_i , обозначенной $j = 1$, интеграл станет равным единице: появился вид. Целочисленные значения $[X]$ будут обозначать количество особей в образовавшейся касте. Аналогично образуются другие однородные касты в интервале $j = 1, 2, \dots, R_2$, $R_2 = [R/a]$, где j — номер однородной

первом шаге, т. е. относительный "отсев" видов по мере роста их численности все меньше и меньше сокращается пропорционально численности вида. Переход к высшей численности (однородные касты) легче для видов, уже достигших высокой численности, чем для малочисленных видов. Легкость перехода в многочисленность саранчевые касты растет пропорционально имеющейся численности.

Алгоритм, полученный статистически, показывает, что в случае сокращения видов неоднородных каст (представленных малым числом элементов) при неизменном общем количестве элементов множества все элементы сокращаемых видов, сохраняя форму гиперболы (устойчивость структуры), с большей вероятностью перераспределяются в соседние касты, сдвигаясь постепенно к однородным (заполняя виды со средней численностью), и с меньшей вероятностью — сразу в однородные касты с численностью, близкой к N_0 (самый многочисленный вид). Алгоритм физически объясняется частичным сокращением численности некоторых видов и возвратом их в неоднородные касты меньшей численности, а также гауссовым распределением видов в кастах, что предопределяет относительно равномерное сокращение числа видов в неоднородных кастах при воздействии, например, в направлении сокращения разнообразия.

Таким образом, статистически полученный алгоритм имеет строгое математическое обоснование и содержит физическую сущность процесса. В случае роста числа редких видов с одновременным уменьшением численности многочисленных каст (ростом разнообразия в системе) модель интерпретируется в обратном порядке аналогичным образом.

Допустим, при изменении параметров a и W_0 произошло перераспределение по структуре некоторого количества элементов, определяемого разностью (заштрихованная область на рис. 16.3):

$$\Delta U = \int_1^R x \Omega_1(x) dx - \int_1^R x \Omega_2(x) dx =$$

$$= \frac{W_{01}}{1-a_1} \left(\frac{1-a_1}{1+a_1} - 1 \right) - \frac{W_{02}}{1-a_2} \left(\frac{1-a_2}{1+a_1} - 1 \right). \quad (16.15)$$

Число видов, соответствующих данному изменению, определяется величиной

$$\Delta S = \int_1^R \Omega_1(x) dx - \int_1^R \Omega_2(x) dx = \frac{W_{02}}{a_2} \left(\frac{-a_2}{1+a_1} - 1 \right) -$$

$$- \frac{W_{01}}{a_1} \left(\frac{-a_1}{1+a_1} - 1 \right). \quad (16.16)$$

Учитывая незначительное различие в объемах системного пространства, занимаемого элементами видов однородных каст по сравнению с элементами видов неоднородных каст, и относительную равномерность в этой связи увеличения численности каст, близких к N_0 , предположим, что перераспределенные элементы, количество которых ΔU , образуют некоторую условную однородную виртуальную касту N_B . Величина $\Delta U = N_B$ при $\Delta S \rightarrow 1$ определяет ее количественно.

Пусть выявлен параметр множества, который отражает увеличение эффективности при увеличении мощности этого множества (его численности), изменяющийся по закону

$$T(x) = T_1 x^{-\beta}, \quad (16.17)$$

где T_1 — параметр при $i = [x] = 1$; β — показатель, характеризующий интенсивность изменения параметра $T(x)$. Таким параметром является, например, трудоемкость монтажно-эксплуатационных работ по электрооборудованию, отражающая затраты на создание и поддержание функционирования ценоза.

Системный параметр для видовой структуры в целом ценоза

$$T_c = T_{cp} \sum_k i^{1-\beta} W(i) = T_{cp} W_0 \sum_k x^{-\alpha-\beta}. \quad (16.18)$$

Тогда эффективность управления видовой структурой определится по формуле, %:

$$\mathcal{E}_B = \int_1^R T_{cp} x^{1-\beta} \Omega_1(x) dx - \int_1^R T_{cp} x^{1-\beta} \Omega_2(x) dx - T_{cp} N_B^{1-\beta} =$$

$$= T_{cp} \left[\frac{W_{01}}{1-a_1-\beta} \left(\frac{1-a_1-\beta}{W_{01}^{1+a_1}} - 1 \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{W_{02}}{1-a_2-\beta} \left(\frac{1-a_2-\beta}{W_{02}^{1+a_1}} - 1 \right) - N_B^{1-\beta} \right] \frac{100}{U}$$

или упрощенно (только величиной виртуальной касты)

$$\mathcal{Z}'_B = \frac{(N_B - N_B^{1-\beta})}{U} 100. \quad (16.19)$$

Формула (16.19) имеет достаточную точность вследствие незначительного изменения части функции (16.17) при изменении аргумента в области, соответствующей однородным кастам.

Установлено, что устойчивость структуры проявляется реализацией ее в пределах изменения характеристического показателя $0 < \alpha \leq 2$. Проведенные исследования статистического материала по более чем 500 выборочным обследованиям, охватывающим 1,5 млн. изделий, особых, показали "технологическую равнозначность" вариантов структуры в этих пределах. При выборе отдельного элемента системы электроснабжения, например электрического двигателя, привода технологического агрегата, существует область равнозначных по критерию народнохозяйственных затрат вариантов как следствие свойства данного критерия — его пологости в зоне минимума. Установлено, что реализация структуры в указанных пределах характеристического показателя есть результат случайного и неуправляемого процесса формирования системы в целом — отражения множества областей равнооптимальных вариантов отдельных элементов.

Компьютерная имитационная модель управления видовой структурной ценоза в интерактивном режиме позволяет изменять состояние структуры и изучать влияние этого изменения на показатели эффективности, реализуя изменение Н-распределения "норма" — изменения характеристического показателя в пределах $0 < \alpha \leq 2$ с шагом, равным 0,1. В результате получаются количественные оценки параметров Н-распределения и эффективности этих изменений, которые реализуются при создании и последующей эксплуатации за счет сокращения разнообразия. Это и вызывает увеличение производительности труда на 25—30%.

Вопросы для самопроверки

1. Рассмотрите разные, в том числе и известные Вам, варианты организации управления системами электрики.
2. Назовите основные семейства эксплуатируемого в промышленности электрооборудования и соотнесите их с назначением и работами, выполняемыми электроремонтным цехом.
3. Рассмотрите функции и назначение подразделений цеха (участка) сетей и подстанций промышленного предприятия по уровням системы электроснабжения.
4. Перечислите электротехнические лаборатории, возможные на крупном предприятии, и соотнесите их с изучаемыми специальными дисциплинами.

5. Определите объем, например, диспетчерского управления системами электроснабжения, объем диспетчеризации и телемеханики применительно к рис. 1.3, 1.4, 2.8.

6. Каковы основные функции электротехнического персонала цеха?

7. Приведите возможные варианты организации ремонта и обслуживания цехового силового электрооборудования.

8. Сформулируйте основные принципы, которые должны быть использованы при определении численности электротехнического персонала по заводу в целом и централизованным службам электроремонта.

9. На основе анализа структуры установленного и ремонтируемого электрооборудования по критериям Н-распределения (по повторяемости) поясните физический смысл отсутствия среднего (математического ожидания) и теоретическую бесконечность дисперсии.

10. Укажите границы управления структурой проектируемого, установленного и ремонтируемого оборудования, обеспечивающие повышение производительности труда электротехнического персонала завода.