

Численность персонала трансформаторно-масляного хозяйства рекомендуется определять прямым счетом по количеству установленных трансформаторов I—III габаритов (см. табл. 21.2).

Общую численность ЦЭТЛ определяют по эмпирической зависимости

$$N_{\text{ЦЭТЛ}} = 3,3 K_1 K_2 \sqrt[4]{n^3}, \quad (21.3)$$

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.

21.7. Оптимизация структуры установленного и ремонтируемого оборудования систем электрики

Эффективность электроремонтного производства во многом определяется соотношением затрат на ремонт (численности электротехнического персонала) и количества эксплуатируемого электротехнического оборудования. Традиционный метод определения численности предполагает наличие перечня (списка) электрооборудования, составленного в соответствии с действующей системой планово-предупредительного ремонта. Для каждой конкретной единицы электрооборудования имеются нормативы трудоемкости T , определенные для текущего, среднего и капитального ремонтов. Система ППР суммирует трудоемкость всех видов ремонтов, однозначно определяя структуру и численность электрической службы по нормируемой структуре ремонтных циклов, продолжительности межремонтных периодов и циклов:

$$T = \sum_{q=1}^q \sum_{k=1}^k \sum_{l=1}^l \sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n t_{q,k,l,m,n}, \quad (21.4)$$

где t — трудоемкость q -го вида работ, k -й группы электрооборудования при выполнении l -го вида обслуживания m -го производственного цеха n -го ремонтного подразделения (фирменные, региональные и заводские электроцеха, имеющие свои нормы, делают T (21.4) даже для одного электрооборудования различной).

Модификацией выражения (21.4) является расчет трудоемкости по так называемым двигателям-представителям и при использовании условных единиц ремонта.

Когда рассматривается конкретный двигатель, то время, необходимое для его обслуживания как вида, нормировано вплоть до отдельных операций. В

этом случае есть причинная зависимость. Но уже при расчете трудоемкости на уровне цеха исчезает однозначность зависимости: количество электрических машин — численность электротехнического персонала. Это соответствует теории систем: ее свойства не сводятся к свойствам элементов. Но системные представления должны быть дополнены ценологическими положениями, которые утверждают, что разнообразие установленного (и ремонтируемого) строго определено законом информационного отбора. И этот закон говорит о существовании устойчивых однородных групп (саранчовых видов), использование количественных характеристик которых дает возможность повысить эффективность электроремонтного производства на 12–25 %.

Если отремонтирован двигатель какого-либо вида, затем сразу же ремонтируется другой того же вида, то трудоемкость ремонта второго всегда меньше (документация, заказ, навыки). Так можно говорить о партии двигателей (особей-штук) одного вида. Удельная трудоемкость ремонта одной электрической машины изменяется по закону гиперболы и зависит от порядкового номера машины в партии:

$$T = T_0/x^\beta, \quad (21.5)$$

где T_0 — величина, соответствующая трудоемкости ремонта (выполнение отдельных работ) одной (первой) электрической машины; x — количество единиц в партии (порядковый номер); β — показатель, являющийся характеристикой интенсивности технологического процесса электроремонтных работ [универсальная кривая обучения Райта, (1922 г.)].

Показатель β определяет, насколько снижается трудоемкость выполнения ремонтных работ при обслуживании второго и последующих однородных изделий (есть предел). По сути, β — показатель уровня организации проведения работ, их автоматизации и механизации. На интенсивность снижения трудоемкости работ (крутизну гиперболы) при увеличении серийности (величины обслуживаемой партии) влияют материально-технические, организационные, внешние и субъективные факторы. Главным можно считать «приноровление» рабочего к производственной операции, освоение эффективных приемов. Для электроремонтных цехов средневзвешенный показатель $\beta_{св} = 0,14$ (технология и специфика меняют показатель в пределах $\beta = 0,01 \div 0,40$).

Будем считать под величиной ремонтируемой однородной партии численность вида S . На основе устойчивости видового распределения (2.5) и зависимости (21.5) можно предложить ценологическую оценку суммарной трудоемкости ремонта множества электродвигателей. Пусть имеется $S = \sum W(i)$ видов, различных по трудоемкости ремонта и сгруппированных в K каст, объединяющих группы видов с одинаковой численностью. Нормы трудоемкости ремонта различных видов разные, что меняет и T_0 .

Примем один показатель β при ремонте различных видов, но каждый из которых одинаковой численности — представлен одним количеством отремонтированных штук-особей (16 МТВ и 1 АРП в табл. 2.4). Тогда по (21.5)

трудоемкость ремонта электрических двигателей, образующих вид численностью i , составит

$$T_{\beta}(i) = T_{iw} i^{-\beta}, \quad (21.6)$$

где T_{iw} — трудоемкость ремонта единичного (первого) электрического двигателя (он может таким и остаться, если взять из ноевой касты $K = 1$ (см. табл. 2.2); $r = 14-24$ (см. табл. 2.3).

Трудоемкость ремонта видов одной касты

$$T_k(i) = \sum^{W(i)} (T_{iw} i^{-\beta}) = i^{1-\beta} \sum^{W(i)} T_{iw}. \quad (21.7)$$

Трудоемкость ремонта всех электрических двигателей, образующих ценоз, определяется суммированием трудоемкости по кастам видового распределения:

$$T_{\text{ст}} = \sum^k \left(i^{1-\beta} \sum^{W(i)} T_{iw} \right). \quad (21.8)$$

В практику проектирования ремонта введены основные критерии — количество электрических двигателей и величина средней мощности. Статистически определенному электрическому двигателю средней мощности соответствует средняя трудоемкость его обслуживания и ремонта. Усреднив трудоемкость ремонта множества электрических двигателей в целом, можно записать формулу определения трудоемкости с использованием основных критериев, но с учетом структуры множества:

$$T_{\text{с.к}} = \sum i^{1-\beta} T_{\text{ср.к}} W(i) \quad (21.9)$$

или

$$T_{\text{с.ср}} = T_{\text{ср}} \tau \sum i^{1-\beta} W(i), \quad (21.10)$$

где $T_{\text{ср.к}}$ — средняя трудоемкость ремонта электрических двигателей K -й касты; $T_{\text{ср}}$ — трудоемкость обслуживания электрического двигателя средней (по множеству в целом) мощности; $\tau = \tau_1 \tau_2 \tau_3$ — коэффициент, учитывающий процентное содержание в рассматриваемом множестве электрических двигателей различных категорий сложности, по средней мощности и в зависимости от процентного содержания которых вводятся поправочные коэффициенты: $\tau_1 = 0,003K_1 + 1$ — для асинхронных двигателей переменного тока с фазным ротором, $\tau_2 = 0,003K_2 + 1$ — для коллекторных машин и машин постоянного тока, $\tau_3 = 0,003K_3 + 1$ — для высоковольтных машин (где K_1, K_2, K_3 — количество соответствующих машин в процентном отношении к общему количеству).

Если структура видового распределения представлена H -распределением, то, заменяя в формуле (21.10) табличное значение $W(i)$ на целую часть числа $\Omega(i)$, получим

$$\begin{aligned} T'_{\text{см}} &= T_{\text{ср}} \sum_{i=1}^k (i^{1-\beta} \Omega(i)) = T_{\text{ср}} \sum_{i=1}^k \left(i^{1-\beta} \frac{W_0}{x^{1+\alpha}} \right) = \\ &= T_{\text{ср}} \sum_{i=1}^k \left(x^{1-\beta} \frac{W_0}{x^{1+\alpha}} \right) = T_{\text{ср}} W_0 \sum_{i=1}^k x^{-\alpha-\beta}. \end{aligned} \quad (21.11)$$

Заменяв сумму интегралом, получим, учитывая, что $W_0 = R^{1+\alpha}$:

$$T''_{\text{см}} = T_{\text{ср}} W_0 \int_1^R x^{-\alpha-\beta} dx = \frac{T_{\text{ср}} R^{1+\alpha}}{1-\alpha-\beta} (R^{1-\alpha-\beta} - 1). \quad (21.12)$$

Для уточнения к $T''_{\text{см}}$ добавляем слагаемое $T_{\text{ср}} N_0^{1-\beta}$, корректирующее трудоемкость ремонта электродвигателей однородных каст. Если необходимо рассчитать суммарную трудоемкость по всем видам работ, всем службам, то формула (21.12) примет вид, аналогичный (21.4), но с учетом структуры K -й группы электрооборудования:

$$T_c = \sum_{q=1}^q \sum_{l=1}^l \sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n \left(T_{\text{ср}} \sum_{i=1}^k i^{1-\beta} W(i) \right). \quad (21.13)$$

Исследования более 500 выборок и генеральных совокупностей показали, что среднеквадратичная погрешность определения трудоемкости по (21.10) — 5–10 %, формулам (21.11) и (21.12) — 5–20 %. Эти большие погрешности формул обусловлены заменой дискретного ряда непрерывной функцией (суммы — интегралом), а также варьированием и неточным описанием трудоемкости однородных каст. Но все выражения можно использовать для исследования эффективности управления, основанного на моделях разности структур.

Оценка оптимальности построения структуры видовых распределений электрооборудования возможна на основании формулы ценологической трудоемкости T_c .

Оптимальное решение — минимум затрат на электроремонт, получаемое из (21.11) для $W_0 = R^{1+\alpha}$, $T_{\text{ср}} = \text{const}$ в виде:

$$T'_c = \frac{T_c}{T_{\text{ср}}} = R^{1+\alpha} \sum_{i=1}^R i^{-\alpha-\beta} \rightarrow \min \quad (21.14)$$

при следующих ограничениях на изменение параметров

$$0 < \alpha < 1; \quad 0,01 \leq \beta \leq 0,4; \quad 5 \leq R \leq 150; \quad 1 \leq i \leq R, \quad (21.15)$$

где R — пойнтер-точка, в которой функция (2.5) строго равна $\Omega(x) \equiv 1$; α — характеристический показатель; β — определена по (21.5).

Анализ показал, что при малых значениях R примерно одинаковое влияние на уменьшение T'_c оказывают увеличение параметра β и снижение α . Но уже при числе особей-штук ремонтируемых электродвигателей около 300, более существенно снижение T'_c при снижении параметра α , чем при увеличении β . То есть при определенном R существует некоторая линия перегиба, когда процесс снижения разнообразия начинает оказывать большее влияние на снижение трудозатрат, чем совершенствование технологии электроремонтного производства. Снижение разнообразия (снижение α) увеличивает возможность проведения мероприятий по интенсификации ремонтных работ, по совершенствованию их технологии (увеличение β). Снижение α на 20 % для $T'_c = 32383$ увеличивает возможность 50 %-го (до $T'_c = 16000$) снижения трудоемкости за счет интенсификации технологического процесса ремонта.

Для оценки величины отклонения T_c от T_F (трудоемкость выполнения электроремонтных работ для случая, когда ценологическое снижение удельной трудоемкости не учитывается) может быть использован показатель

$$H_T = \frac{T_c}{T_F} = \frac{T_{cp} \sum_{i=1}^k i^{1-\beta} W(i)}{T_{cp} \sum_{i=1}^k i W(i)} = \frac{\sum_{i=1}^k i^{1-\beta} W(i)}{\sum_{i=1}^k i W(i)}, \quad (21.16)$$

названный показателем напряженности выполнения электроремонтных работ по структуре множества электрооборудования. Показатель является относительной оценкой оптимальности построения структуры по критерию затрат на электроремонт.

Теоретическое значение H_T изменяется в пределах $0 < H_T \leq 1$ ($\beta = \text{const}$). Предельный случай $H_T = 1$ означает, что $T_c = T_F$, т. е. структура множества представлена только различными видами, нет двух одинаковых (эффект рассеяния) и нет партий, в которых происходило бы снижение трудоемкости при ремонте и обслуживании (самый неэффективный случай построения структуры). Уменьшение величины H_T (уменьшение T_c по сравнению с $T_F = \text{const}$ для рассматриваемой системы) свидетельствует о более эффективном построении структуры, снижении разнообразия, появлении многочисленных видов. Предельный случай $H_T \rightarrow 0$ соответствует эффекту концентрации, когда все электрические двигатели на предприятии или в ремонте абсолютно одинаковы (одного вида).

Как правило, эффект от снижения трудоемкости при образовании каст одинакового электрооборудования не определяется ввиду сложности учета, отсутствия сведений по структуре, соответствующей методике, позволяющей количественно оценить явление. Эффект все равно проявляется в разной напряженности работы двух бригад, когда в одну смену приходится ремонтировать все разные электрические двигатели, а в другую (при одинаковой расчетной трудоемкости выполнения работ за смены) происходит случайное образование

партий, что и повышает производительность труда. Практически всегда значение T_c меньше, чем T_f , что позволяет сделать вывод, что в структуре множества электрооборудования (установленного и ремонтируемого) скрыт резерв повышения эффективности электроремонтного производства (%):

$$\Theta_n = (1 - H_T) \cdot 100. \quad (21.17)$$

Показатель Θ_n (относительная оценка оптимальности построения структуры по критерию затрат) позволяет определить, на сколько теоретически может быть снижена трудоемкость при данной структуре (видовом распределении): для средневзвешенного показателя $\beta_{св} = 0,14$ для установленных электродвигателей $\Theta_n = 35\%$, для ремонтируемых за год 27, за 6 месяцев — 20, за квартал — 14, за месяц — 8 %. Резерв Θ_n определяется в основном однородными кастами и для ремонтной выборки практически весь может быть реализован.

Показатели H_T и Θ_n в отличие от показателя T_c относительные и позволяют обобщенно сравнить по оптимальности структуры различные предприятия, различающиеся величиной и количеством ремонтируемого электрооборудования. Можно, не зная трудоемкости отдельных операций, сравнить две структуры по оптимальности: определяют α и β , показатель β принимают для

возможности сравнения одинаковым; рассчитывают $H_T^{(1)} = \sum_i i^{-\alpha_1 - \beta_1} / \sum_i i^{-\alpha_1}$ и $H_T^{(2)} = \sum_i i^{-\alpha_2 - \beta_2} / \sum_i i^{-\alpha_2}$, которые затем и сравнивают. Оптимизация структуры

по критерию затрат на электроремонт заключается в минимизации разнообразия видов эксплуатируемого электрооборудования в границах параметров структуры, определяемых состоянием видового распределения — норма.

Управление видовой структурой эксплуатируемого электрооборудования по критерию минимизации трудоемкости электроремонтных работ основано на следующих положениях.

Пусть $U = \text{const}$ (общее количество элементов множества), $R = \text{const}$ (параметр размера множества), W_{01} , W_{02} , α_1 , α_2 — численность первой касты и характеристический показатель соответственно до и после изменения структуры.

Учитывая $W_0 = R^{1+\alpha}$, можно записать

$$\sqrt[1+\alpha_1]{W_{01}} = \sqrt[1+\alpha_2]{W_{02}}, \quad (21.18)$$

т. е. при воздействии на структуру параметров W_0 и α до и после изменения оказываются функционально связанными: при изменении параметра α значение параметра W_0 должно меняться таким образом, чтобы функция $\Omega(x)$ в любом случае проходила через точку с координатами $(R, 1)$. Модель управления структурой оборудования представлена на рис. 21.4.

Продифференцируем функцию (21.18):

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Omega}{dx} &= -W_0 \gamma x^{-\gamma-1}; \\ d\Omega &= -W_0 \gamma x^{-\gamma-1} dx, \end{aligned} \right\} \quad (21.19)$$

где $\gamma = 1 + \alpha$.

Относительное уменьшение числа видов

$$\frac{d\Omega}{\Omega} = \frac{-W_0 \gamma x^{-\gamma-1}}{W_0 x^{-\gamma}} dx = -\gamma x^{-1} dx = \frac{-\gamma}{x} dx. \quad (21.20)$$

Анализ (21.20) показывает, что при увеличении численности вида на прирост dx (при фиксированном x) относительный спад количества видов, составляющий $-\gamma x^{-1} dx$. Продолжая увеличивать dx на такую же величину, будем получать меньший в процентном отношении спад, чем при 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. Легкость перехода в многочисленные 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

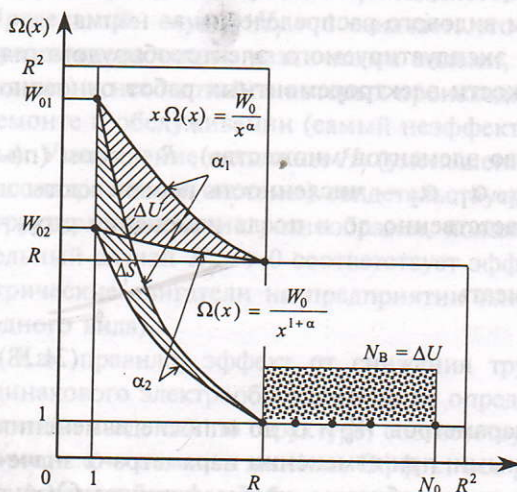


Рис. 21.4. Модель управления структурой эксплуатируемого электрооборудования

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 опирается на 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.

Имитационная модель управления видовой структурой ценоза в интерактивном режиме позволяет изменять состояние структуры и изучать влияние этого изменения на показатели эффективности в пределах состояния H -распределения «норма» — изменения характеристического показателя в пределах $0 < \alpha \leq 1$, с шагом, равным 0,1. В результате получены номограммы, дающие количественную оценку эффекта, который реализуется при электроремонте за счет сокращения в структуре числа редких видов и одновременном увеличении количества элементов многочисленных каст, т. е. при унификации. Номограммы построены в относительных единицах и находятся в зависимости лишь от значения параметра β , при условии сохранения $U = \text{const}$. Анализ статистического материала показал, что качество модели полностью определяется погрешностью формул определения трудоемкости, используемых при моделировании.

На рис. 21.5 представлена одна из номограмм для случая $\beta = 0,1$. Первоначальным значениям показателя α_1 соответствуют сами кривые; на горизонтальной оси отмечены значения α_2 . При изменении, например, с $\alpha_1 = 0,8$ до $\alpha_2 = 0,2$ точка пересечения соответствующих кривых α_1 с перпендикуляром, восстановленным из точки, соответствующей значению α_2 , даст значение экономического эффекта, соответствующее изменению числа видов первой касты ΔW_0 , численность виртуальной касты ΔU и число видов, подвергшихся изменению при унификации, ΔS .

Зависимость трудоемкости ремонта от структуры видового распределения делает актуальным вопрос управления разнообразием структуры при организации ППР, проектировании, строительстве, техническом перевооружении производства в целях увеличения резерва повышения эффективности ремонтно-эксплуатационных работ. Практически можно, воздействуя на структуру в пределах статистически равнозначных и равноэффективных по технологическим и энергетическим требованиям вариантов, снизить в два раза число редких при одновременном увеличении численности часто встречающихся видов изделий.

Для сдвига сроков ППР с целью снижения разнообразия ремонтируемых электрических двигателей в пределах равнооптимальных значений периодичности ремонта каждого электрического двигателя структуру план-графика можно представить в виде матрицы

$$B = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{u1} & b_{u2} & \dots & b_{un} \end{vmatrix} \quad (21.21)$$

Число строк матрицы u соответствует количеству электрических двигателей, намечаемых к ремонту в рассматриваемом периоде, разбитом на n временных интервалов, которым соответствуют столбцы матрицы.

Элементы матрицы определены следующим образом: $b_{un} = r$, если у U -го электродвигателя, являющегося r -м видом ($r = 1, 2, \dots, S$), значение межремонтного периода из диапазона оптимальных значений периодичности про-

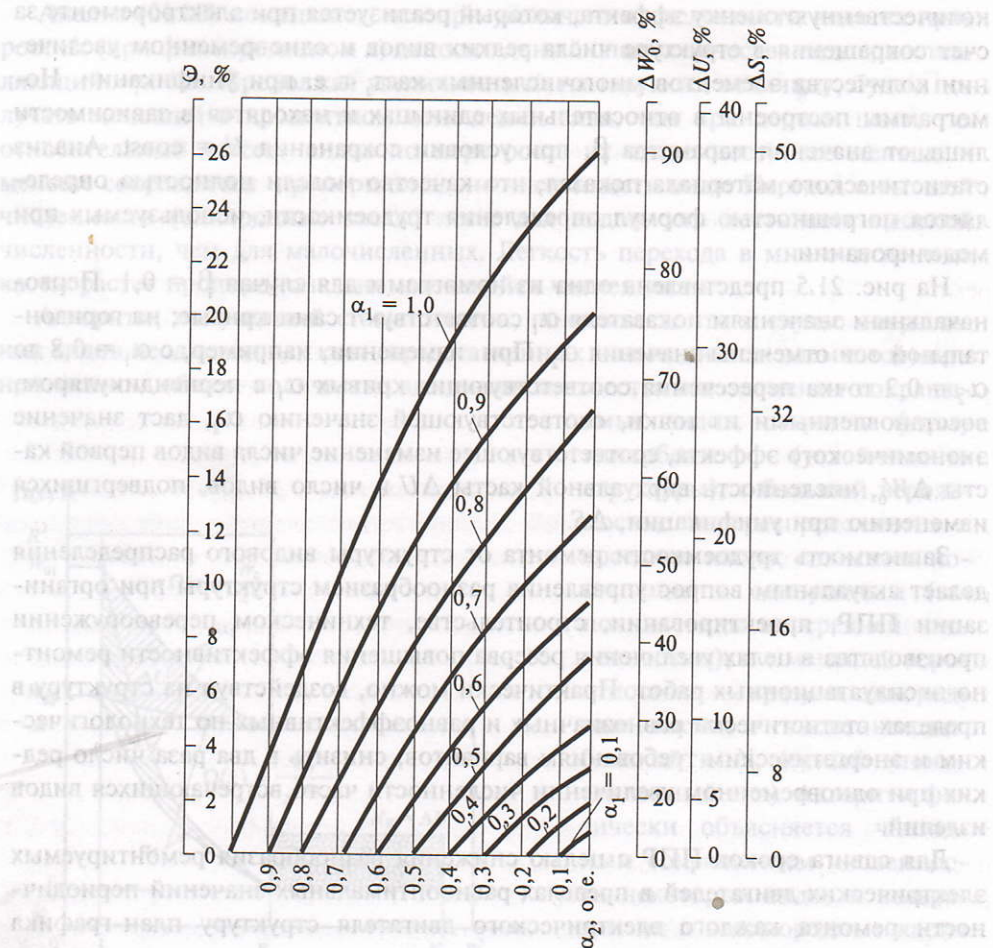


Рис. 21.5. Номограммы определения эффективности и параметров ΔW_0 , ΔU и ΔS при управлении видовой структурой электрического ценоза

ведения ремонта совпадает с n -м временным интервалом; $b_{ин} = 0$, если у U -го электродвигателя диапазон оптимальных значений периодичности не совпадает с планируемыми сроками ремонта. В каждый n -й период может быть отремонтировано определенное равное количество электрических двигателей k при общем количестве $U = kn$. Матрица оптимизируется по условию, что среди k электрических двигателей, одновременно выводимых в ремонт, число видов будет минимальным.

Существенна ценологическая оценка систем электроремонта при распределении объемов между уровнями централизации. Речь идет о сочетании крупных, средних и мелких предприятий, как универсальных, так и различной специализации. Количество специализированных электроремонтных подразделений (на предприятии, в отрасли, в регионе, в стране), распределение номенклатуры и объемов работ, уровень централизации необходимо определять на основе устойчивости структуры множества установленного и ремонтируемого электрооборудования. Тогда H -оптимальное распределение объемов работ между специализированными фирмами, отраслевыми подразделениями и внутризаводским электроремонтом решается следующим образом.

Проводится анализ структуры множества установленных, например, электрических машин на промышленных предприятиях региона, нуждающихся в электроремонте (строится H -распределение). Определяются часто встречающиеся (саранчовые) виды, описываемые некоторой функцией $Z(x)$. Для их ремонта в регионе нужен один специализированный межотраслевой завод с технологией поточного ремонта, приближающейся к технологии заводов-изготовителей [объемы ремонта, осуществляемые специализированными подразделениями электротехнической промышленности, длительное время не превышали 10–12 %, что как раз и соответствует приближенному соотношению количества электрических машин, описываемых функцией $Z(x)$].

Затем проводится анализ H -распределений множества электрических машин групп технологически близких предприятий. Для них электрические машины, которые были средней встречаемости [соответствующие $Z(x)$], становятся саранчовыми, отражая специфику отрасли (черная металлургия, машиностроение). В этом случае целесообразна организация специализированного отраслевого электроремонтного предприятия, которое и будут обслуживать характерные только для своей отрасли саранчовые виды электрических машин.

Наконец, оставшиеся электрические машины редких видов, характерные только для данного завода, независимо от отрасли и территориального расположения должны ремонтироваться в своих собственных электроцехах. Переносить индивидуальный ремонт в специализированные межотраслевые и отраслевые подразделения неэффективно, так как каждый электродвигатель все равно уникален, а ремонт останется индивидуальным.

Описанная методика H -оптимального распределения предприятий и объемов их ремонта является обобщенной, и ее следует применять с учетом конкретных условий, увязывая с уже существующей материально-технической базой ремонта и транспортными расходами.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите варианты организации управления системами электрики.
2. Укажите основные семейства эксплуатируемого в промышленности электрооборудования и соотнесите их ремонт с 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.
5. Каковы основные функции электротехнического персонала цеха?
6. Приведите возможные варианты организации ремонта и обслуживания цехового силового электрооборудования.
7. Сформулируйте основные принципы, которые должны быть использованы при определении численности электротехнического персонала по заводу в целом и централизованным службам электроремонта.
8. На основе анализа структуры установленного и ремонтируемого электрооборудования по критериям H -распределения (по повторяемости) поясните физический смысл отсутствия среднего (математического ожидания) и теоретическую бесконечность дисперсии.
9. Укажите границы управления структурой проектируемого, установленного и ремонтируемого оборудования, обеспечивающие повышение производительности труда электротехнического персонала завода.

Рекон

Рекон

Авд

изд

рин

Анд

пос

: УГ

Бох

2003

Ваг

атом

Вар

/Б. П

214

Жеж

при

Жел

трич

во Н

Иван

снаб

Энер

Кудр

соф

сист

Кудр

ктро

жени

Цен

— 35

Кудр

зов /

Курб

техн

БрГТ

Ники

лурги

вещ.