

$$1 + \alpha = \frac{1}{\beta} \quad (6.1.1.9)$$

Так как $\alpha \in [0,1]$, то следует, что $\beta \in [0,5,1]$. Результаты исследований говорят о меньшем значении $\beta \in [0,01 \div 0,4]$, то есть:

$$\beta = \frac{1}{1 + \alpha + \varepsilon} \quad (6.1.1.10)$$

где ε - показатель несовершенства технологии, равный разнице между теоретическим значением β и эмпирическим. Существование ε - указывает на возможности повышения эффективности технологического процесса ремонта. Если будет определен оптимальный параметр структуры (оптимальный уровень разнообразия) $\alpha_{\text{опт}}$, то будет соответственно существовать $\beta_{\text{опт}}$ по (6.1.1.9), выше которого объективно невозможно поднять его значение (на данном теоретическом положении базируется семейство кривых рис. 6.1.3.2)

Таким образом, при увеличении размера ремонтируемой однородной партии электрооборудования происходит снижение удельной трудоемкости выполняемых работ. Величина снижения выражена через показатель интенсивности электроремонтного производства, который определен экспертно $\beta = 0,01 \div 0,40$. На зависимость между суммарной трудоемкостью проводимых ремонтно-эксплуатационных работ и численностью обслуживающего его персонала основное влияние оказывает эффект образования различных по величине групп однородного электрооборудования (одного вида), повышающий производительность труда электротехнического персонала, в связи с чем важно определение функциональной зависимости между трудоемкостью электроремонтных работ и структурой множества ремонтируемого электрооборудования.

Установлено, что основной причиной завышения на 30% и более проектной численности электротехнического персонала, определяемой при использовании усредненных норм и положений ППР, является отсутствие учета структуры множества ремонтируемого электрооборудования при определении суммарной трудоемкости электроремонта.

6.1.2. Системная оценка трудоемкости ремонта множества электрооборудования на основе устойчивости его структуры

Будем понимать под величиной ремонтируемой однородной партии численность вида - i . Тогда, на основе устойчивости видового распределения и зависимости (6.1.1.6), можно предложить формулу системной оценки суммарной трудоемкости ремонта множества электрических двигателей,

учитывающую его структуру. Пусть имеется $S = \sum W(i)$ видов различ-

ных с точки зрения трудоемкости ремонта электрических двигателей, сгруппированных в K каст, объединяющих группы видов с одинаковой численностью. Нормы трудоемкости ремонта различных видов электрических двигателей (различной и одинаковой мощности, но различных типов) будут различными, изменится и T_0 , но темп снижения трудоемкости при увеличении объема партий при ремонте различных видов, но одинаковой численности, различается незначительно и поэтому может быть принят одинаковым для конкретного ЭРЦ (один показатель β в целом для ЭРЦ без различия по видам ремонтируемых электрических двигателей).

Трудоемкость ремонта электрических двигателей, образующих вид численностью i определяется согласно (6.1.1.6)

$$T_{\beta}(i) = T_{iW} i^{-\beta} i, \quad (6.1.2.1)$$

где T_{iW} - трудоемкость ремонта одного двигателя одного вида.

Трудоемкость ремонта электрических двигателей всех видов одинаковой численности (одной касты), определяется по формуле:

$$T_k(i) = \sum^{W(i)} (T_{iW} i^{1-\beta}) = i^{1-\beta} \sum^{W(i)} T_{iW}. \quad (6.1.2.2)$$

Чтобы определить трудоемкость ремонта всех электрических двигателей, входящих в систему, достаточно просуммировать трудоемкости по кастам видового распределения, определенные по формуле (6.1.2.2):

$$T_{CT} = \sum^k \left(i^{1-\beta} \sum^{W(i)} T_{iW} \right). \quad (6.1.2.3)$$

Для системной оценки эффективности электрического хозяйства в целом и в практику проектирования материально технической базы ремонта введены, определяемые статистически, основные критерии - количество электрических двигателей и величина средней мощности [286]. 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:

$$T_{CK} = \sum^k i^{1-\beta} T_{CPK} W(i) \quad (6.1.2.4)$$

$$\text{или} \quad T_{\text{ССР}} = T_{\text{CP}} \tau \sum_{i=1}^k i^{1-\beta} W(i), \quad (6.1.2.5)$$

где $T_{\text{СРК}}$ - средняя трудоемкость ремонта электрических двигателей К-й касты; T_{CP} - 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: $\tau_1 = 0,003 \cdot K_1 + 1$ - для асинхронных двигателей переменного тока с фазным ротором, $\tau_2 = 0,08 \cdot K_2 + 1$ - для коллекторных машин и машин постоянного тока, $\tau_3 = 0,09 \cdot K_3 + 1$ - для высоковольтных машин, где K_1, K_2, K_3 - количество соответствующих машин в процентном отношении к общему количеству, % (формулы коэффициентов составлены с использованием материалов [259]).

Если структура видового распределения будет представлена в виде модели (1.4.1.6), то заменяя в формуле (6.1.2.5) табличное значение $W(i)$ на целую часть числа $\Omega(i)$, получим:

$$\begin{aligned} T'_{\text{СМ}} &= T_{\text{CP}} \sum_{i=1}^k (i^{1-\beta} \Omega(i)) = T_{\text{CP}} \sum_{i=1}^k \left(i^{1-\beta} \frac{W_0}{X^{1+\alpha}} \right) = \\ &= T_{\text{CP}} \sum_{i=1}^k \left(X^{1-\beta} \frac{W_0}{X^{1+\alpha}} \right) = T_{\text{CP}} W_0 \sum_{i=1}^k X^{-\alpha-\beta}. \end{aligned} \quad (6.1.2.6)$$

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

$$T''_{\text{СМ}} = T_{\text{CP}} W_0 \int_1^R X^{-\alpha-\beta} dx = \frac{T_{\text{CP}} R^{1+\alpha}}{1-\alpha-\beta} \cdot (R^{1-\alpha-\beta} - 1). \quad (6.1.2.7)$$

Для уточнения к $T''_{\text{СМ}}$ добавляется слагаемое $T_{\text{CP}} \cdot N_0^{1-\beta}$, корректирующее трудоемкость ремонта электродвигателей однородных каст.

Если необходимо рассчитать суммарную трудоемкость технического обслуживания или ремонта по всем видам работ, всем службам, то формула примет вид, аналогичный (6.1.1.1), но с учетом структуры К-й группы электрооборудования:

$$T_{\text{C}} = \sum_{q=1}^q \sum_{l=1}^l \sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n \left(T_{\text{CP}} \sum_{i=1}^k i^{1-\beta} W(i) \right). \quad (6.1.2.8)$$

Оценим погрешности выведенных формул расчета системной трудоемкости электроремонтных работ основываясь на положениях [197].

Формулой, принимаемой для сравнения, является относительно точная формула (6.1.2.3). Погрешность формулы (6.1.2.5) при $\tau=1$ определяется погрешностью замены $\sum^{W(i)} T_{iW} = W(i)T_{CP}$, или, учитывая $T = f(P)$

[89], $\sum^{W(i)} P_{iW} = P_1 + P_2 + \dots + P_{iW} \rightarrow W(i)P_{CP} + \sigma_f$. Если распределение мощностей электрических двигателей, эксплуатируемых на промышленном предприятии, подчиняется нормальному закону, то σ_{CP} будет являться среднеквадратичным отклонением натурального распределения от теоретического закона. Например, в [146] приведены статистические характеристики логнормального распределения мощности электрических двигателей по черной металлургии, откуда математическое ожидание ошибки составило $\sigma_{CP} = 7,6\%$. Введение коэффициента τ при наличии электрических машин семейств различных категорий сложности (иной зависимости $T = f(P)$) в любом случае снижает погрешность.

При усреднении трудоемкости по кастам видового распределения $\sum^{W(i)} T_{iW} = T_{CPK} W_{ik} + \sigma_{CPK}$ и дальнейшем суммировании по всей

структуре (6.1.2.4): $T_{CK} = \sum^K (T_{CPK} W(i) + \sigma_{CPK}) \cdot i^{1-\beta}$ происхо-

дит суммирование (накопление) погрешности, увеличение ее в «К» раз.

Статистические исследования погрешностей формул по более 500 выборкам и генеральным совокупностям показали, что среднеквадратичная погрешность определения трудоемкости по формуле (6.1.2.4) составила 10-15%, формуле (6.1.2.5) - 5-10%, формулам (6.1.2.6) и (6.1.2.7) - 5-20%.

Погрешности формул (6.1.2.6) и (6.1.2.7) обусловлены заменой дискретного ряда непрерывной функцией и суммы интегралом. Большой разброс погрешности объясняется варьированием и неточным описанием трудоемкости однородных каст. Эти формулы в дальнейшем используются в модели исследования влияния изменения структуры на эффективность электроремонтных работ, основанной на разности трудоемкости до и после воздействия. Формулы (6.1.2.6) и (6.1.2.7) могут быть использованы для исследования эффективности управления структурой.

Отметим, что, в принципе, формула (6.1.2.3), как и (6.1.1.1) в еще большей степени, содержит в себе ошибку норм [218], где трудоемкость нормирована лишь в зависимости от мощности электрического двигателя и, притом, ступенчато. Такое определение трудоемкости, как уже отмечалось [310], может иметь погрешность до 50%. В этом смысле формула

(6.1.2.3) оказывается менее точной, чем (6.1.2.5) как указанная ошибка при суммировании по ней накапливается. Введение средней мощности (трудоемкости) по всему множеству, являющейся устойчивой величиной с известным законом распределения, снимает этот недостаток.

Для дальнейших исследований примем обозначение системной трудоемкости электроремонта T_C без различия в применяемой формуле, выбираемой в каждом конкретном случае.

В заключение отметим, что попытка установить количественные зависимости между затратами на электроремонт (себестоимостью электроремонта) и структурой множества ремонтируемого электрооборудования, проведение факторного эксперимента, где одним из факторов являлась повторяемость как оценка структуры, положительных результатов не дали. Исследования показали, что это связано с существующими расчетами трудоемкости электроремонтных работ на промышленных предприятиях, которые не учитывают эффекта (6.1.1.6).

Таким образом, на основании исследования зависимости трудоемкости выполнения электроремонтных работ от величины ремонтируемой однородной партии электрооборудования выведена формула расчета системной трудоемкости электроремонтных работ, учитывающая структуру множества ремонтируемого электрооборудования (устойчивость, описываемую параметрами R и α) и показатель интенсивности электроремонтного производства (β).

6.1.3. Оценка оптимальности построения структуры видовых распределений электрооборудования

Проведем оценку структуры множества установленного и ремонтируемого за определенный промежуток времени электрооборудования по показателю системной оценки трудоемкости электроремонта T_C , характеризующему структуру абсолютной величиной - чел. ч.

Учитывая, что для любого предприятия оптимальным решением будет являться условие минимума затрат на электроремонт, проведены исследования функции (6.1.2.6) для $W_0 = R^{1+\alpha}$, $T_{CP} = \text{const}$ в виде:

$$T'_C = \frac{T_C}{T_{CP}} = R^{1+\alpha} \sum_{i=1}^R i^{-\alpha-\beta} \rightarrow \min \quad (6.1.3.1)$$

при следующих ограничениях на изменение параметров

$$0 < \alpha < 1; \quad 0,01 \leq \beta \leq 0,4; \quad 5 \leq R \leq 150; \quad 1 \leq i \leq R. \quad (6.1.3.2)$$

Исследования функции (6.1.3.1) проводились на ЭВМ по специально разработанной программе «DIA». Диаграммы изменения показателя T'_C в