

## VI. СТРУКТУРА МНОЖЕСТВА ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КАК ОСНОВА МЕНЕДЖМЕНТА ЭЛЕКТРОРЕМОНТА

### 6.1. Устойчивость структуры множества электрооборудования как критерий системной оценки трудоемкости ремонта

#### 6.1.1. Исследование показателя интенсивности электроремонтного производства

Важным вопросом проектирования, технического перевооружения и повышения эффективности электроремонтного производства в целом является вопрос определения связи затрат на ремонт (численности электротехнического персонала) с количеством эксплуатируемого электротехнического оборудования.

Сложившийся метод определения численности обслуживающего электротехнического персонала любым из широко известных способов предполагает наличие перечня (списка) электрооборудования, составленного в соответствии с действующей системой ППР. Для каждой конкретной единицы электрооборудования имеются нормативы трудоемкости, определенные для текущего, среднего и капитального ремонтов, например [218]. Система ППР прямо говорит, что лишь суммарная трудоемкость всех видов профилактических ремонтов и технического обслуживания определяет структуру и численность энергетической службы предприятий [259], то есть при нормируемой структуре ремонтных циклов, продолжительности межремонтных периодов и ремонтных циклов общая трудоемкость обслуживания однозначно определяется, как уже отмечалось в [145], выражением:

$$T = \sum_{q} \sum_{k} \sum_{l} \sum_{m} \sum_{n} t_{q,k,l,m,n} \quad (6.1.1.1.)$$

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 (к ремонтным подразделениям относятся межведомственные, отраслевые и различные заводские электроремонтные цеха, имеющие свои нормы, в связи с чем трудоемкость даже для одного электрооборудования и одинакового вида обслуживания может быть определена различно). Модификацией выражения (6.1.1.1) для определения численности является расчет трудоемкости по так называемым двигателям-представителям при приведении всего списка оборудования к условным единицам ремонта [89].

Убеждение, что существует однозначная зависимость между принятой структурой ремонтных циклов с одной стороны, и проектной, или плани-

руемой численностью электротехнического персонала с другой, ошибочно, так как не учитывает вероятностного характера событий, связанных с обслуживанием, то есть одно из основных положений системы ППР статистически не подтверждается.

Когда рассматривается конкретный двигатель, то время, необходимое для его обслуживания, нормировано вплоть до отдельных операций. Здесь есть причинная зависимость. Но уже при расчете трудоемкости на уровне производственного цеха исчезает функциональная зависимость: количество электрических машин - число электротехнического персонала. Это подтверждается неудачными попытками определения численности при использовании системы ППР - результаты получаются завышенными на 30-100 % по сравнению с существующей численностью. То есть общая трудоемкость системы меньше суммы трудоемкостей, необходимых для обслуживания отдельных единиц электрооборудования. Этот факт вытекает из данных статистики.

Коэффициент корреляции при прогнозировании общей численности электриков, как правило, выше, чем коэффициент корреляции при прогнозировании централизованных служб (ЭРЦ, ЦСП, ЦЭТЛ). В некоторых случаях его можно считать значимым. Но часто результаты расчетов показывают отсутствие зависимости между электропотреблением и количеством электрических машин, с одной стороны, и численностью централизованных служб, с другой [145]. Эти факты указывают на сложность и необходимость решения вопросов, связанных с расчетом численности электротехнического персонала. За основу расчета численности не следует брать систему ППР не только потому, что практически счетное количество единиц электрооборудования необходимо разбить по строчкам нормативов ППР (113 для электрических двигателей), но и потому, что увеличение количества установленных электрических машин детерминировано не увеличивает численность централизованных электротехнических служб.

Формула (6.1.1.1.) не учитывает таких случайных факторов, как различную организацию электроремонтных работ на различных предприятиях, электровооруженность, технологию ремонта, влияние образования групп одинакового электрооборудования на производительность труда электротехнического персонала и трудоемкость электроремонта в целом. Определение трудоемкости, методологически сводимое к (6.1.1.1), объективно тормозит рост производительности труда.

Наличие в структуре множества эксплуатируемого на предприятиях электрооборудования устойчивых однородных групп (саранчовых видов) позволяет ставить вопрос об изучении влияния структуры на трудоемкость электроремонтных работ, интенсивность технологического процесса. Только на основной функции «организация обмотки статора» при внедрении

комплектования партий из однотипных электрических двигателей повышена производительность труда от 7,5 до 16,5 % [6].

Для специализированных электроремонтных предприятий концентрация ремонтного производства позволяет осуществить организацию поточного ремонта части парка электрических машин (определенных габаритов). Централизация приводит к относительному снижению трудоемкости ремонта и себестоимости удельных капиталовложений одной ремонтной единицы и одной условной единицы ремонта в зависимости от объема ремонтных работ (рис. 6.1.1.1) [4, 274].

При применении зависимости рис. 6.1.1.1 для расчетов трудоемкости электроремонта в ЭРЦ промышленных предприятий возникают трудности, связанные с пересчетом ремонтных единиц. По существующим нормативам [218] трудоемкость ремонта определяется лишь в зависимости от мощности электрической машины, в то время как электрические машины одной мощности, но различных видов, одной категории ремонтной сложности по нормативам, на самом деле различаются по трудоемкости ремонта. Например, имеется следующая зависимость трудоемкости ремонта:

$$T_{TP} = \frac{k_3 P}{DnAB_{\sigma}}, \quad (6.1.1.2)$$

где  $P$  - номинальная мощность электрического двигателя, кВт;  $D$  - коэффициент конструктивного исполнения обмотки;  $k_3$  - диаметр якоря;  $A$  - длина сердечника;  $n$  - скорость вращения ротора;  $B_{\sigma}$  - индукция в воздушном зазоре. Не учет этого факта приводит к погрешности определения ремонтосложности от -40 % до +55 % [310]. В этой связи необходимо исследовать зависимость трудоемкости выполнения электроремонтных работ от величины однородной партии обслуживаемых электрических двигателей (одного вида) в штуках. В области изготовления электротехнических изделий имеются исследования, показывающие, что себестоимость изготовления  $i$ -й группы изделий в условиях специализированного производства определяется серийностью производства:

$$C_i^{cnc} = c_i^0 \cdot \lambda_i^c, \quad (6.1.1.3)$$

где  $c_i^0$  - себестоимость  $i$ -й группы продукции в условиях децентрализованного мелкосерийного производства;  $\lambda_i^c$  - функция снижения себестоимости изделий и узлов при концентрации их производства, ( $\lambda^c > 1$ ), которая является параметром гиперболической зависимости вида:

$$\lambda_i^c = \left( \frac{N_i}{n_i} \right)^z, \quad (6.1.1.4)$$

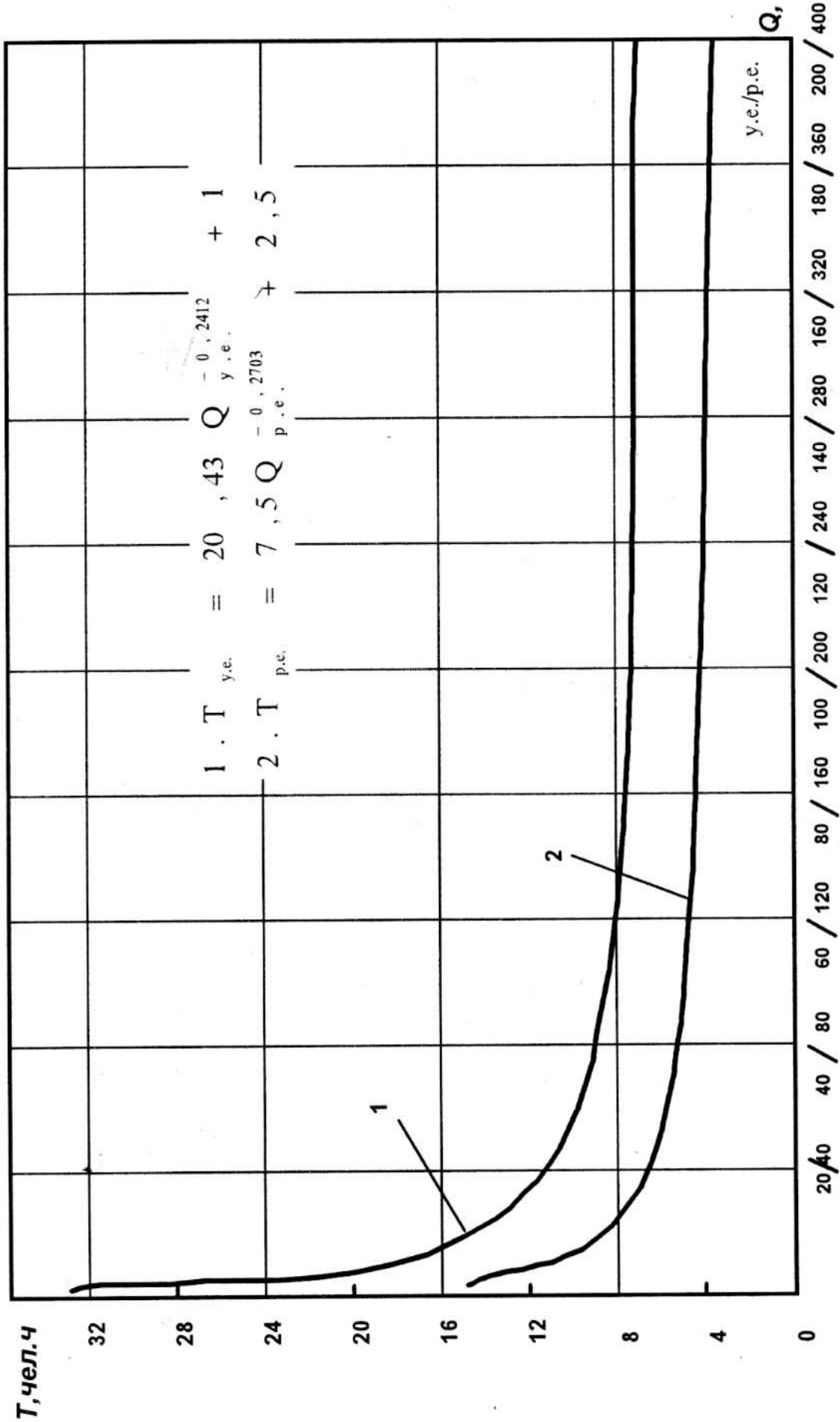


Рис. 6.1.1.1 Изменение трудоемкости одной ремонтной единицы и одной условной единицы в зависимости от объема электроремонтных работ.



где  $N_i$  и  $n_i$  - серийность (партионность) производства какого-либо изделия;  $Z$  - показатель степени, характеризующий конструктивно-технологический характер продукции ( $Z= 0,10 \div 0,40$ ). Практически себестоимость изделий специализированного производства и функций  $\lambda^c_i$  рассчитывается по каждому типу изделий [299, 312].

Аналогичная зависимость имеется при изготовлении низковольтной аппаратуры [167]. В производстве завода «Электровыпрямитель» учитывается данная закономерность введением подобного наклона нормативных линий, равного  $m= -0,0431$  [260]. Фактическая удельная стоимость основных производственных фондов мастерских по ремонту электрических счетчиков ( в расчете на 1000 штук) снижается с увеличением их производительности:

$$y = A \cdot e^{-\alpha N} + a_0, \quad (6.1.1.5)$$

где  $A=1,48$ ,  $\alpha=0,1$  - константы,  $a_0$  - постоянная составляющая, не зависящая от производительности [125].

В электроремонтном производстве в типовых нормах времени [172,282] и расценках на ремонт электрооборудования [265] все работы нормируются по трудоемкости лишь на единицу ремонтируемой детали, изделия. Понижающие коэффициенты к трудоемкости выполняемых работ в нормативных документах и при самом процессе ремонта не применяются, хотя тот факт, что суммарная трудоемкость не равна сумме трудоемкостей по каждой единице электрооборудования подтверждается многочисленными исследованиями (например, во французской De La Norm, 1978, № 259 показано, что возрастание объема партий снижает себестоимость, как  $\sqrt[m]{n}$ ,  $m>1$ ). Значение показателя степени уравнения, характеризующего возможную интенсивность технологического процесса ремонта электрической части металлообрабатывающих станков одной марки (от 1 до 1000 штук), равное 0,15, приведено в [266]. Отмечено, что показатель вычисляется на основании опыта освоения технологий. При анализе типовых норм времени на выполнение отдельных видов электроремонтных работ видно, что в неявной форме все же наблюдается относительное снижение удельной трудоемкости при повторении однотипных операций ( табл. 6.1.1.1 - 6.1.1.2).

Примем, аналогично [112], что удельная трудоемкость ремонта электрических машин инвариантна виду ремонта системы ППР, изменяется по закону гиперболы в зависимости от порядкового номера машины в партии и выражаются формулой (рис. 6.1.1.2):

$$T = \frac{T_0}{x^\beta}; \quad (6.1.1.6)$$

T, чел.ч

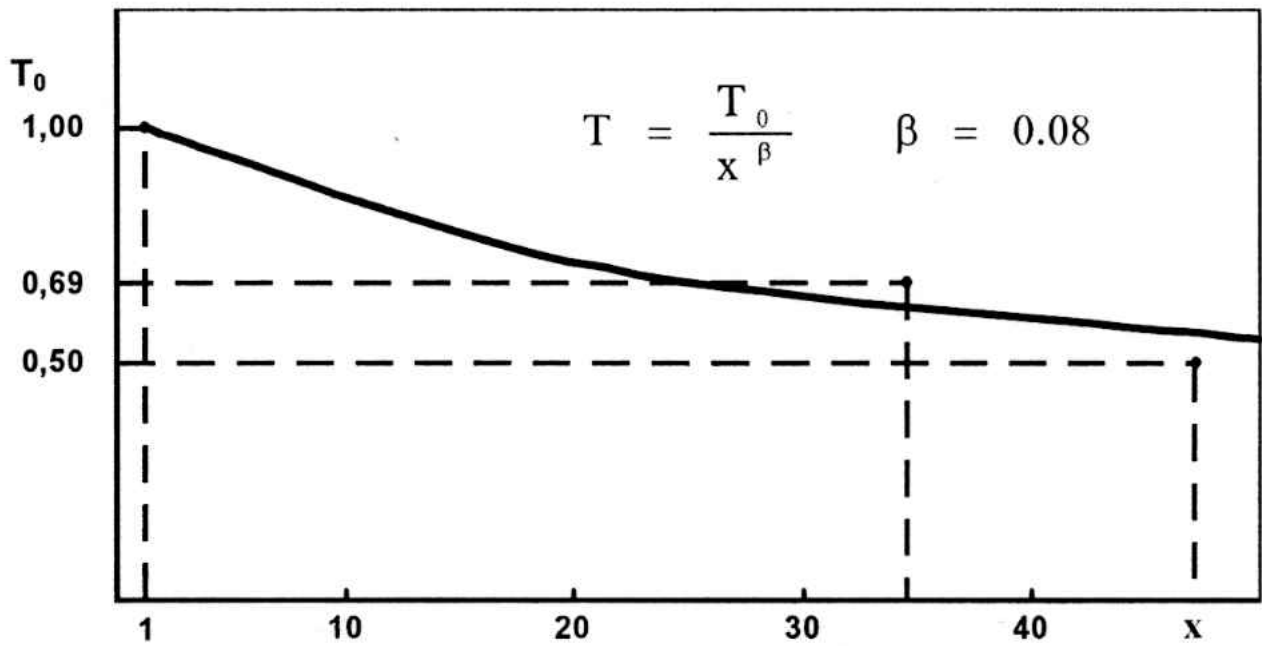


Рис. 6.1.1.2. Определение показателя  $\beta$  по результатам экспертного опроса на основе функциональной зависимости удельной трудоемкости электроремонтных работ от величины однородной партии.

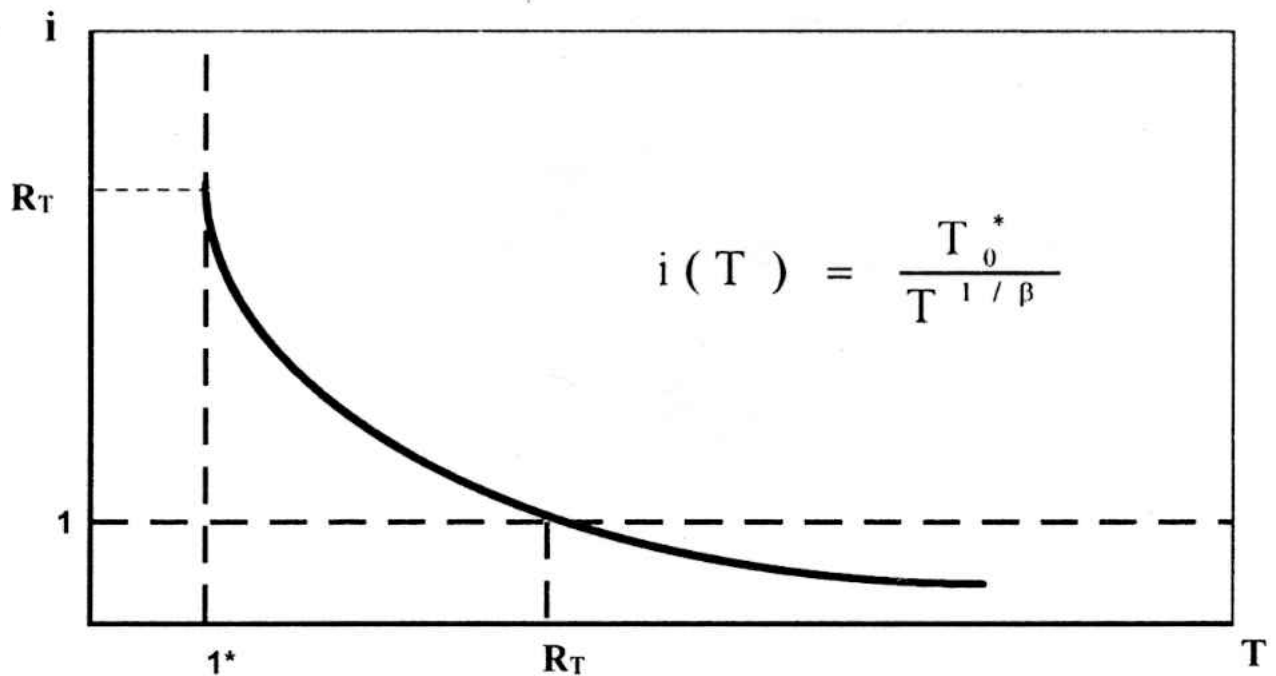


Рис. 6.1.1.3 Зависимость численности партии (вероятность реализации) от ресурса (удельной трудоемкости) как модели Н-распределения.

Таблица 6.1.1.1

Типовые нормы времени на ремонт электродвигателей  
в пересчете на единичную выполняемую операцию (фрагмент)

Операция	Удельная норма времени (чел.ч.)	Операция	Удельная норма времени (чел.ч.)
Демонтаж схемы обмотки статора при числе пазов:		Укладка стержней в пазы ротора при числе пазов:	
24	0,060	60	0,042
31	0,050	72	0,039
48	0,045	96	0,036
54	0,045	120	0,035
72	0,043		
Заготовка изоляции и гильзовка пазов статора при числе пазов:		Перемотка обмотки якоря двигателя мощностью 1 кВт при числе па- зов:	
24	0,040	20	0,325
36	0,034	30	0,260
48	0,031	40	0,225
54	0,030	50	0,220
72	0,028		

Таблица 6.1.1.2

Расценки на монтаж оборудования электротехнических установок  
в пересчете на единичную выполняемую операцию (фрагмент)

Наименование электрооборудования	Удельные затраты (руб.)	Удельные затра- ты (чел. ч)
Прибор измерения и защиты при количестве подключаемых концов до:		
2	0,220	0,500
6	0,115	0,170
12	0,090	0,170
Посты управления кнопочные, подвесные, с количеством элементов до:		
3	0,630	1,000
6	0,360	0,500
10	0,280	0,300
16	0,220	0,190
Переключатель универсальный, на стене, с количеством секций до :		
4	0,730	0,500
10	0,360	0,300
16	0,270	0,250
24	0,230	0,210
Светильники для люминесцентных ламп, отдельно устанавливаемый, на штырях, с количеством ламп до:		
2	63,500	48,500
4	43,250	38,500
10	30,300	29,100

где  $T_0$  – величина, соответствующая трудоемкости ремонта (выполнение отдельных работ) одной (первой) электрической машины, чел. ч.;  $x$  – количество единиц в партии (порядковый номер);  $\beta$  – показатель, являющийся характеристикой интенсивности технологического процесса электроремонтных работ.

Физический смысл показателя  $\beta$  заключается в том, что он определяет насколько снижается трудоемкость выполнения ремонтных работ при обслуживании второго однородного изделия, третьего и т.д. (есть предел) и по сути является показателем уровня организации проведения работ, их автоматизации и механизации. На интенсивность снижения трудоемкости работ (крутизну гиперболы, отражаемую показателем  $\beta$ ) при увеличении серийности (величины обслуживаемой партии) влияют разные факторы: материально-технические, организационные, внешние и субъективные. Нас интересует фактор «приноровления» рабочего к производственной операции, постепенное освоение им наиболее эффективных приемов, более производительной работы являющийся основным в снижении трудоемкости [112, 172, 266, 284].

Нами проведена экспертная оценка показателя  $\beta$ . Экспертам, которыми являлись специалисты Магнитогорского, Новолипецкого металлургических комбинатов, ПО «Абаканвагонмаш», Дивногорского завода низковольтного аппаратостроения, Минусинского электротехнического производственного комплекса, производственного объединения «Укрэлектрочермет», производственно-технического предприятия «Черметэлектроремонт», Государственного института по проектированию металлургических заводов, Московского энергетического института и многие другие, были заданы три вопроса: 1) сколько часов ремонтируется один электрический двигатель; 2) сколько электрических двигателей ремонтируется за месяц; 3) сколько электрических двигателей отремонтировалось бы за месяц при условии их однотипности.

Определенные показатели (табл. 6.1.1.3) достоверны на уровне значимости 0,05-0,01 при проверке критерием хи-квадрат. Специалистам, в зависимости от квалификации, присваивается ранг. Предпочтение (максимальные ранги) отдано специалистам, непосредственно занимающимся ремонтными работами (обмотчики, укладчики, дефектировщики, начальники ЭРЦ и др.), что связано со спецификой оцениваемого показателя. Ранг вводится для выравнивания компетентности экспертов

$$\beta_{\text{св}} = \frac{\sum_i (\beta_i \cdot r_i)}{\sum_i r_i} = 0,14 \quad (6.1.1.7)$$



Таблица 6.1.1.3

Результаты экспертной оценки показателя интенсивности  
электроремонтного производства.

Эксперты, $i$	$\beta_i$	$r_i$	$\chi_i^2$
1	0,24	5	0,4131
2	0,29	5	0,9039
3	0,21	5	0,1646
4	0,19	5	0,6069
5	0,09	4	0,8305
6	0,20	4	0,1699
7	0,06	5	0,2976
8	0,03	4	2,5322
9	0,06	5	5,9709
10	0,02	4	0,1954
11	0,04	5	0,1174
12	0,15	3	0,5078
13	0,14	4	0,2240
14	0,18	3	2,5203
15	0,14	2	1,5672
16	0,20	2	3,1657
17	0,18	2	0,6534
18	0,07	3	0,2082
19	0,14	5	0,7223
21	0,15	5	0,1080

Полученный средневзвешенный показатель  $\beta_{CB} = 0,14$ , учитывая, что большие ранги присвоены экспертам Магнитогорского металлургического комбината, где технологический процесс ремонта приближается к технологии изготовления новых электрических машин, отражает технологию цеха с сравнительно «лучшим» (образцовым) производственным процессом ремонта, может охарактеризовать лишь тенденцию в целом, лишь факт существования данной закономерности. Для каждого же предприятия со своей технологией и спецификой будет характерен свой показатель интенсивности технологического процесса ремонта. Примем для электроремонтного производства на основе анализа литературных источников и экспертной оценки  $\beta = 0,01 \div 0,40$ .

Удельная трудоемкость может интерпретироваться как ресурс, а численность партии как вероятность реализации этого ресурса, что может быть записано в виде функции, обратной (6.1.1.6):

$$i(T) = \frac{T_0^{1/\beta}}{T^{1/\beta}} = \frac{T_0^*}{T^{1/\beta}}, \quad (6.1.1.8)$$

где  $T_0 = R_T$  параметр, определяющий максимальный ресурс, реализуемый в партии, представленной одним электродвигателем;  $T$  - текущее значение ресурса (трудоемкость). В точке  $R_T$  функция  $i(T) = 1$ . Тогда соотношение между трудоемкостью ремонта и численностью ремонтируемой партии также описывается Н-распределением, что подтверждается близостью эмпирических, экспертных и теоретических оценок.

Самый большой ресурс реализуется в партии, представленной одним элементом, а небольшой ресурс реализуется в больших партиях, то есть при росте величины партии ресурс стремится к нулю, но его снижение ограничено некоторой единичной трудоемкостью. Условная единица трудоемкости ( $I^*$  на рис. 6.1.1.3) определяется величиной партии, после увеличения которой снижение удельной трудоемкости происходить не будет. Характерной особенностью является то, что незначительное изменение местоположения  $I^*$  на оси определяет значительные изменения численности партии -  $i$ . Эта максимальная величина партии и соответственно условная единица трудоемкости характерна для предприятия конкретной технологии, определенного вида работ. Величина партии, при которой может быть достигнута  $T = I^*$  зависит от показателя  $\beta$ .

На основе интерпретации (6.1.1.8) как Н-распределения показатель  $\beta$  может быть теоретически уточнен для конкретной, оцениваемой по трудоемкости электроремонтных работ, структуры множества эксплуатируемого электрооборудования следующим образом. Сопоставляя зависимости (1.4.1.6.) и (6.1.1.8) можем записать:

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

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  $\varepsilon$  - показатель несовершенства технологии, равный разнице между теоретическим значением  $\beta$  и эмпирическим. Существование  $\varepsilon$  - 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,