

вероятностно реализуются варианты начального этапа формирования структуры, когда в начале появляется сразу много редких видов и затем происходит постепенный процесс насыщения их элементами (1,3 рис. 6.1.3.4 б), или появляются постепенно виды уже определенной численностью (2, рис. 6.1.3.4 б) например, комплексные поставки на предприятии «систем машин». Результаты исследования показателя N_T на вероятностной модели статистических испытаний подтвердили устойчивость величины резерва повышения эффективности электроремонтного производства, скрытого в структуре множества эксплуатируемого электрооборудования. В работе рассматривается оценка резерва повышения эффективности электроремонтных работ, подтвержденная аналогичными исследованиями [244].

Таким образом: 1) в структуре множества электрооборудования скрыт резерв повышения эффективности электроремонтного производства, математическое ожидание величины которого составляет для установленных электрических двигателей - 35%, ремонтируемых за год - 27%, за шесть месяцев - 20%, за квартал - 14%, за месяц - 8%; 2) для промышленного предприятия оптимизация структуры по критерию затрат на электроремонт заключается в минимизации разнообразия видов эксплуатируемого электрооборудования в границах параметров структуры, определяемых состоянием видового распределения - норма.

6.2. Управление видовой структурой эксплуатируемого электрооборудования по критерию минимизации трудоемкости электроремонтных работ

Показатели, характеризующие свойства систем, могут быть определены одним из двух способов [37]: 1) путем обработки данных натурального эксперимента; 2) методом моделирования процесса функционирования сложной системы. Из-за невозможности проведения натуральных испытаний - изменения структуры множества электрооборудования системы в приемлемые для эксперимента сроки (структура складывается в течении всего срока «жизни» предприятия), целесообразно применять моделирование, которое является эффективным методом оценки вариантов структуры сложной системы на стадии ее проектирования (особенно в условиях САПР). Наиболее применим метод имитационного моделирования, заключающийся в построении математической модели структуры, реализованной программно. Это позволяет в интерактивном режиме изменять состояние исходной информации и изучать влияние этого изменения на показатели эффективности. Алгоритм имитационной модели управления видовой структурой множества эксплуатируемого электрооборудования «WID» приведен на рис. 6.2.1.



Рис. 6.2.1. Алгоритм имитационной модели управления видовой структурой множества эксплуатируемого электрооборудования «WID»

Исходным для моделирования является список электрооборудования, поэтому модель может применяться только в случае, когда уже имеются какие-либо предпосылки, например, известно начальное видовое распределение электрооборудования, назначенного к установке и изменяемого в целях снижения разнообразия, имеется база данных видовых распределений или известна закономерность в изменении структуры. К этим условиям максимально подходит модель, которая теоретически имитирует процесс управления структурой по объективно существующей закономерности, описанная в разд. 2.4. Обобщенная математическая модель взаимосвязи изменения структуры множества эксплуатируемого электрооборудования и показателей эффективности проводятся в пределах устойчивости структуры на основе моделей Н-распределения, то есть в состоянии распределения норма, учитывая конечную цель - снижение трудозатрат на электроремонт.

Из диаграммы (рис. 6.1.3.1) видно, что минимумом функции T'_C является ребро А-В, которое проецируется на плоскость в точку независимо от R. Если рассматривать изменение T'_C в функции α и β только одной из плоскостей диаграммы, соответствующей структурам множеств одинаковых объемов ($R=\text{const}$), то есть предприятий (выборок) одинакового количества элементов выделенного семейства (электро двигателей), то такому исследованию соответствует случай изменения числа видов - S (изменение α) при определенных изменениях интенсивности технологического процесса электроремонтных работ β , то есть случай технического перевооружения электрического хозяйства сформировавшихся промышленных предприятий или любой случай сравнения вариантов двух структур при условии $U=\text{const}$.

Анализ зависимости $N_T = f(\beta)$ показывает, что зависимость близка к прямолинейной (рис. 6.2.2) и с достаточной точностью (среднеквадратичная ошибка составила 0,8) описывается уравнением $N_T = 1 - \beta \cdot \text{tg}\varphi$, откуда можно определить $\text{tg}\varphi$ - угол наклона прямой к оси β , являющейся функцией параметров R и α , эмпирически $\text{tg}\varphi = 0,85 \div 1,9$. Величина N_T определяется прямым счетом (6.1.3.3) или по табличным данным. Тогда, для дальнейшего построения имитационной модели можно принять условие $\beta=\text{const}$, а для получения результатов моделирования при изменении β ввести корректирующий коэффициент к значениям показателей эффективности, определяемый по формуле:

$$K_\beta = \text{tg}\varphi \cdot (\beta_2 - \beta_1) + 1, \quad (6.2.1)$$

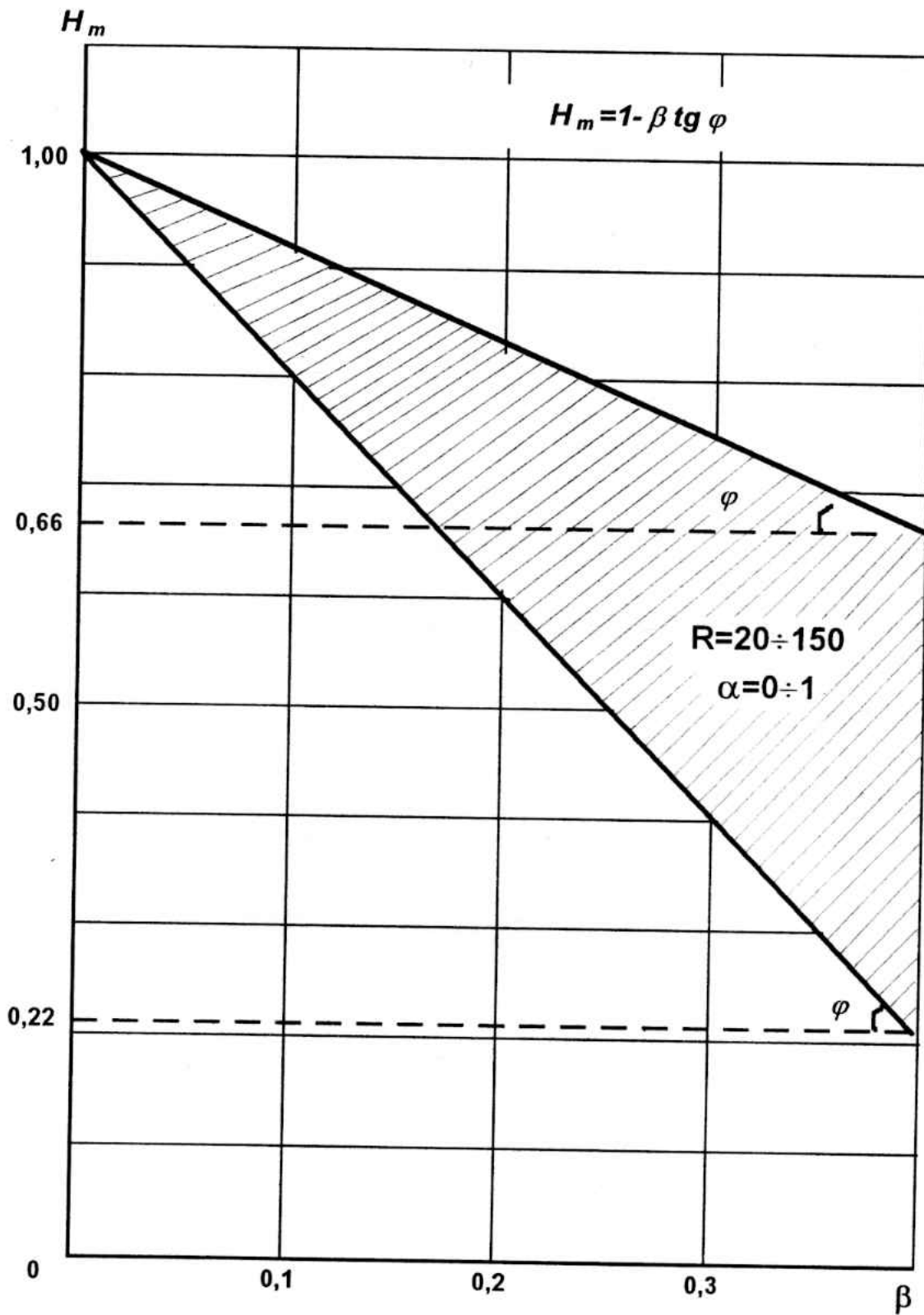


Рис. 6.2.2 Диапазон изменения относительного показателя оптимальности построения структуры H_T

где $\operatorname{tg} \varphi = (1 - N_T^{(1)}) \beta_1, N_T^{(1)}, \beta_1$ - параметры до изменения структуры.

Допустим, что при изменении параметров α и W_0 произошло перераспределение по структуре некоторого количества электрических двигателей, определяемое разностью (заштрихованная область рис. 2.4.1). Учитывая незначительную разницу в снижении трудоемкости на ремонт каждого электродвигателя в однородных кастах (мало зависящая от изменения аргумента часть функции (6.1.1.6) т. е. в окрестности точки $T=1^*$ на рис. 6.1.1.3, можно предположить, что эти электрические двигатели как раз и образуют некоторую условную однородную касту $N_B = \Delta U$, названную выше виртуальной. Число видов виртуальной касты, т. е. число подвергшихся изменению видов, соответствующее данному изменению ΔU определится формулой (2.4.3).

Эффективность изменения структуры в рассматриваемом случае, выражаемая в изменении затрат на электроремонт, будет определяться величиной виртуальной касты. С учетом снижения трудоемкости во всех кастах N -распределения до и после воздействия эффект определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_B &= \int_1^R T_{Cp} x^{1-\beta} \Omega_1(x) dx - \int_1^R T_{Cp} x^{1-\beta} \Omega_2(x) dx - T_{Cp} N_B^{1-\beta} = \\ &= T_{Cp} \left[\frac{W_{01}}{1-\alpha_1-\beta} \left(W_{01}^{\frac{1-\alpha_1-\beta}{1+\alpha_1}} - 1 \right) - \frac{W_{02}}{1-\alpha_2-\beta} \left(W_{01}^{\frac{1-\alpha_2-\beta}{1+\alpha_2}} - 1 \right) \right] \frac{100}{U}, \% \quad (6.2.2) \end{aligned}$$

или упрощенно только величиной виртуальной касты. Без учета снижения трудоемкости по кастам N -распределения до изменения структуры, что, как правило, существует на практике, эффект, отнесенный к общему количеству электродвигателей, определится по формуле:

$$\mathcal{E}_B^I = \frac{(N_B - N_B^{1-\beta})}{U}, \% \quad (6.2.3)$$

Эта формула имеет достаточную точность вследствие незначительного изменения части функции (6.1.1.6) при изменении аргумента в области, соответствующей однородным кастам.

Разработанная компьютерная имитационная модель управления видовой структурой ценоза, которая в интерактивном режиме позволяет изменять состояние структуры и изучать влияние этого изменения на показатели эффективности, позволила реализовать автоматическую имитацию изменения структуры в пределах состояния N -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 сокра-

шения в структуре числа редких видов и одновременном увеличении количества элементов многочисленных каст, то есть 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. 6.2.3 представлена одна из номограмм для случая $\beta = 0,1$ (ПО "Абаканвагонмаш"). 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 . При изменении показателя β необходимо полученный эффект умножить на коэффициент (6.2.1).

Взаимосвязь показателя резерва эффективности электроремонтного производства, содержащегося в структуре множества электрооборудования $\mathcal{E}_н$, и эффективности управления структурой, определяемой виртуальной кастой $\mathcal{E}_в$:

$$\mathcal{E}_в = \mathcal{E}_н^{(2)} - \mathcal{E}_н^{(1)}, \quad (6.2.4)$$

где $\mathcal{E}_н^{(1)}$, $\mathcal{E}_н^{(2)}$ - величины, соответственно, до и после воздействия.

Иная оценка эффективности воздействия: рассчитывается $\mathcal{E}_в$ по (6.2.4) и затем по номограммам (рис. 6.2.3) определяются $\Delta S, \Delta U, \Delta W_0$. Эффект при управлении структурой множества электрооборудования в направлении снижения разнообразия является дополнительным, увеличивающим резерв повышения эффективности электроремонта.

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 возможно, воздействуя на структуру в пределах статистически равнозначных и равноэффективных по технологическим и энергетическим требованиям вариантов,

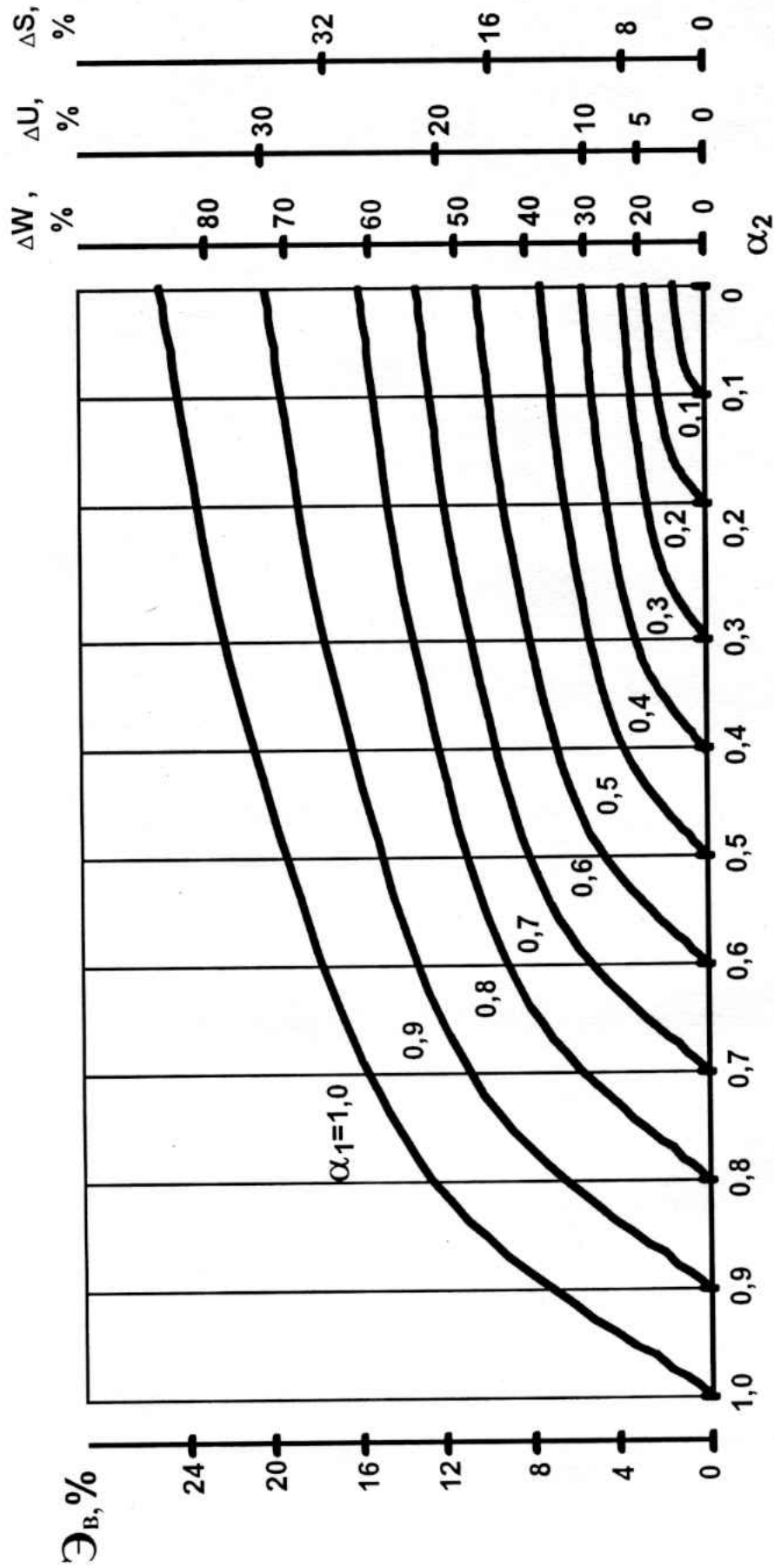


Рис. 6.2.3. Номограммы для определения эффективности управления структурой множества эксплуатируемых электрических двигателей ($u = \text{const}$)

снизить в два раза число редких при одновременном увеличении численности частовстречающихся видов изделий.

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

$$B = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ b_{u1} & b_{u2} & \dots & b_{un} \end{vmatrix} \quad (6.2.5)$$

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 y U -го электродвигателя, являющегося r -м видом ($r=1, 2, \dots, S$), значение межремонтного периода из диапазона оптимальных значений периодичности проведения ремонта совпадает с n -м временным интервалом; $b_{un} = 0$, если y 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.

Эффективность управления отражается увеличением показателя ε_H . Оптимизация по минимуму разнообразия годовых план-графиков ППР электрических двигателей позволяет достигнуть снижения трудоемкости электроремонтных работ на 18-20%. Например, матрица план-графика ППР на квартал шести электрических машин ($U=6$) трех видов ($S=3$) выглядит следующим образом:

$$B = \begin{vmatrix} 1 & (1) & 0 \\ (3) & 3 & 3 \\ 0 & 2 & (2) \\ 0 & (1) & 1 \\ 0 & 0 & (2) \\ (3) & 3 & 3 \end{vmatrix} \quad (6.2.6)$$

При оптимизации матрицы в каждый месяц будет выведено в ремонт по две электрические машины одного вида (выделенные в скобках). Без оптимизации матрицы за квартал в каждый из месяцев могли быть выведены по две электрические машины различных видов, что повлекло бы за собой увеличение роли индивидуального подхода при проведении электро-ремонтных работ.

Рассмотрим управление структурой множества электродвигателей при выборе их мощности, сводимое к унификации системы [214, 219, 243]. Длительность использования рабочего механизма в течении года, размер ущерба при отказе, условия окружающей среды и другие факторы, влияющие на эффективность использования электродвигателей и рабочего механизма в целом учитываются приближенно, интуитивно, выбор, в лучшем случае, основывается на одном из классических методов - средних потерь, эквивалентного тока, момента, мощности, поэтому часто электрические двигатели работают с нагрузкой не более 30-40% [108]. Выбор зачастую диктуется условиями сохранения установочно-присоединительных размеров. При этом в расчет не принимается, что мощности двигателей изменились как и их эксплуатационные характеристики [162]. До 25% электрических двигателей в стране выбраны проектировщиками машин и механизмов неправильно [92].

Получена [115] модель влияния отклонения параметров схемы замещения конкретных электрических машин от номинальных значений за счет отклонений параметров материалов, допусков технологических процессов изготовления узлов и сборки электрической машины в целом на искомые величину потерь и тока статора асинхронного двигателя. На основе модели, позволяющей оценить изменение математического ожидания потерь, потребляемой мощности, КПД, $\cos \varphi$ при изменении параметров последовательности нагрузок, показано, что при максимально возможной дисперсии момента нагрузки при диапазоне изменения $(0,1-0,7) M_n$ энергетические показатели, например, для лифтовой установки, отличаются от оцененных по средним значениям на 20%.

Определение установленной мощности электродвигателей с некоторой известной дисперсией позволяет ввести дополнительный критерий, учитывающий при выборе мощности электрического двигателя системный фактор: взаимную унификацию в техноценозе для снижения затрат на электроремонт (задача выбора электрических двигателей системы с минимально возможным числом видов). Для практической реализации такого управления структурой множества установленных электрических двигателей используется матрица инцидентий, предложенная [251] для построения оптимальной внутривозвратной сети с минимальным числом типоразмеров кабеля. Мощность электродвигателя привода выбирается с учетом вари-

рования ее в известных равноэкономичных (равно оптимальных) пределах. Матрица формируется в виде:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ a_{u1} & a_{u2} & \dots & a_{un} \end{pmatrix} \quad (6.2.7)$$

Число строк матрицы соответствует числу выбираемых (заменяемых) электрических двигателей. Число столбцов матрицы соответствует числу стандартных (и нестандартных) мощностей электрических двигателей (в число столбцов могут входить и электродвигатели других серий, специального исполнения, иностранных фирм). Элементы матрицы определены следующим образом: $a_{ij}=1$, если i -й электрический двигатель может быть выбран в соответствии с (6.2.7) мощностью, соответствующей номеру j ; $a_{ij}=0$, если i -й электрический двигатель не может быть видом столбца j .

Полученная таким образом матрица оптимизируется: а) все количество электрических двигателей разбивается на несколько групп; б) каждую из групп можно выполнить двигателем какой-либо одной номинальной мощности; в) число номинальных мощностей, используемое для этих целей, следовательно, число групп принимается минимально возможным. Разбиение матрицы на минимальное число столбцов и есть выбор электрических двигателей по минимальному числу видов, что сводится к задаче целочисленного программирования. Для оптимизации матрицы составлена программа "МАТ". В основу оптимизации матрицы большой размерности, преобразованной в двудольный граф, может быть положен алгоритм Хопкрофта и Карпа [255].

Для расчета эффективности, реализуемой системным методом выбора электрических двигателей, необходимо, пересчитав количество групп (столбцов) с одинаковым числом строк матрицы, перейти к видовому распределению и по показателю \mathcal{E}_n (программе "WID") рассчитать эффект. Величина эффекта управления структурой множества установленных электрических двигателей на предприятиях, определенная методом моделирования и анализом эмпирического материала, достигает 30% при условии организации ремонта электрических двигателей партиями и оптимизации по трудоемкости план-графиков ППР.

Таким образом: 1) обобщенная математическая модель, имитирующая процесс управления структурой множества эксплуатируемого электрооборудования, позволяет исследовать влияние изменения структуры в направ-

лении унификации на системную трудоемкость электроремонтных работ. Использование для расчетов системной трудоемкости электроремонта совместно с управлением структурой дает до 30% повышение производительности труда электроремонтного персонала; 2) анализ видовых распределений электрооборудования позволяет осуществлять организацию ремонта партиями, создать оптимальный централизованный обменный фонд, выравнивать план-график ППР по трудоемкости и целенаправленно воздействовать на устанавливаемое оборудование в процессе формирования электрического хозяйства.

6.3. Определение периодичности и объемов технического обслуживания и ремонта электрических машин

6.3.1. Синтез структуры множества электрических машин

Нормальное функционирование технологического и вспомогательного оборудования зависит от надежности эксплуатируемого электрооборудования. Одним из эффективных путей повышения надежности является своевременное и качественное проведение их технического обслуживания и ремонтов (ТОР) с целью предупреждения отказов. При определении периодичности и объемов ТОР, особенно специализированными отраслевыми подразделениями, невозможно использовать существующие системы ППР в связи с тем, что нормативы систем усреднены, не учитывают износа электрооборудования, на практике имеют большой диапазон разброса значений (даже для однотипного оборудования), существенно отличаясь от фактических; сами системы имеют различный подход к вопросам планирования.

Централизованные специализированные электроремонтные подразделения оторваны территориально и административно (особенно в межотраслевой системе) от промышленных предприятий, планирующих ТОР, и фиксирующих лишь факт появления электрической машины в ремонтном фонде. Поэтому, практически невозможно планировать объемы и сроки ТОР электрических машин специализированными предприятиями, основываясь не столько на данных системы ППР, но на более точных моделях определения оптимальных сроков профилактики. В этой связи, особенно в условиях экономической нестабильности, отсутствия нормальной плановой системы материально-технического снабжения, для определения периодичности и объемов ТОР электрических машин, в первую очередь, специализированными электроремонтными предприятиями необходимо применение статистических методов исследования структуры потоков электрических машин требующих обслуживания.

Для разработки метода определения периодичности и объемов ремонта электрических машин специализированными предприятиями, проведен