

У. ТЕОРИЯ ВИДОВОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

5.1. Ценологический подход к проблеме надежности

Обширны исследования отказов электрооборудования, причин выхода его из строя и теоретические обоснования среднего времени безотказной работы и оптимального времени ремонтного цикла, в частности, отправки электрического двигателя в ремонт [22, 34, 64, 65, 74, 110, 159, 160, 171, 180, 181, 191, 273, 314, 339]. Знание законов распределения дает вероятностную величину продолжительности ремонтных циклов и межремонтных периодов (средней продолжительности работы двигателя t) следовательно, время поступления в ремонт. Для отдельного электродвигателя как особи могут быть известны классические вероятностные характеристики - рис. 5.1.1 (верхний график). Но для множества даже однотипных электродвигателей зависимости могут быть представлены совокупностью (нижний график), где площади - средние наработки до отказа распределены не по нормальному закону распределения.

Тривиально утверждение [74]: «Усредняя оценку наработки на отказ по множеству реализаций на множестве объектов, можно говорить об уверенности в результатах функционирования множества объектов данного класса. Однако в отношении конкретного объекта вероятностные меры будут еще более условными, так как результаты наблюдений объединяются в предположении об одинаковости всех объектов и условий их работы... Условность частотных и вероятностных мер является причиной неопределенности в оценках показателей надежности для элементов электроэнергетических установок. Границы интервала, в который попадают значения, различаются на один-два порядка».

Исследования надежности множества электрооборудования показали, что распределение электрических двигателей предприятий по повторяемости времени выхода в ремонт соответствует распределению Юла, не имеющего в предельном случае математического ожидания и дисперсии. На выборках конечного объема это проявляется в существенной зависимости эмпирических средних (межремонтных периодов) от объема выборки.

В этой связи исследования надежности электрических двигателей невозможно основывать на изучении каждого конкретного изделия из-за их практической счетности и из-за размытости понятия "надежность "среднего" вида". Разброс данных по надежности электрооборудования достигает 1:10 и более. Становится объяснимой, например, причина невыполнимости в принципе межремонтных периодов, принятых существующей в промышленной энергетике системой ППР, которая в соответствии с усредненными нормативами для определенного вида электрооборудования независимо от конкретных условий эксплуатации, срока службы и др. устанав

Вероятность безотказной работы

(при экспоненциальном распределении времени безотказной работы)

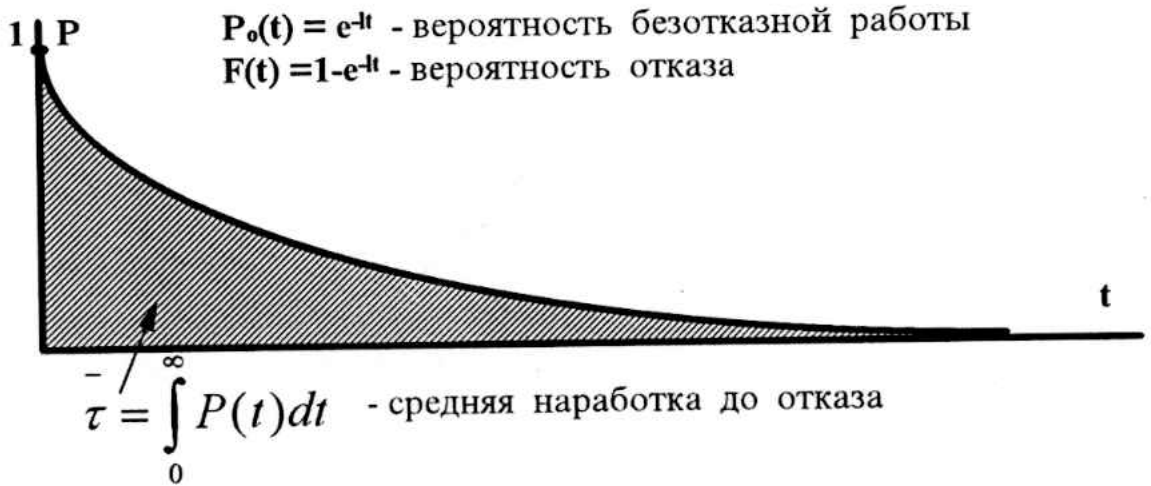


Рис. 5.1.1. Показатели надежности множества электрооборудования

ливают единую структуру и среднюю продолжительность ремонтных циклов.

Применение методов и средств технической диагностики позволяет располагать относительно точными данными о состоянии электрооборудования и более точно определить необходимость его ремонта или замены. Профилактические ремонты электрооборудования по состоянию являются новой, прогрессивной формой, внедрение которой в значительной степени позволит повысить эксплуатационную надежность электрооборудования.

Но, учитывая практическую бесконечность количества электрооборудования даже на одном предприятии, очевидна экономическая невозможность охвата этой формой всего парка электрооборудования. Ремонты по состоянию целесообразны для ответственного электрооборудования. Для оценки надежности изделия как вида, функционирующего в конкретных условиях эксплуатации классическими методами надо разделить всю совокупность (N-распределение) исследуемых изделий с помощью методов распознавания образов (введя в понятие вид - "фактор внешней среды") на группы аналогов и применить известные параметры и методы их оценки применительно к виду изделия. Фактически это означает необходимость разделения совокупности m исследуемых изделий при исследовании, например, параметра потока отказов

$$\omega = \frac{n}{mt}, \quad (5.1.1)$$

где n - число отказов за время t на m объектах, систематизируемых по N-распределению.

Такой подход возможен, но не дает системной оценки. Для системной оценки надежности всей негауссовой структуры техноценоза необходима оценка, опирающаяся на теорию техноэволюции. Теория техноэволюции [154] опирается на схему рис. 5.1.2: -1. Начинается схема с документа. Документ содержит наследственную информацию, материализованный опыт предшествующих поколений (научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы при разработке электротехнического оборудования, технологий и материалов), например, проект электрической машины (для серийного производства, объектно-ориентированного, при локальном техническом решении) серии 4А с расчетными характеристиками надежности; -2. При наличии материально-энергетических условий (финансирование, материально-техническая база и др.) по действующим документам осуществляется размножение отобранных вариантов, изготовление изделий заводом-изготовителем по промышленной технологии или электроремонтной службой самого предприятия-потребителя с детерминированной структурой, жестко запроектированными размерами, связями, компоновкой, исходными материалами, с вероятностным разбросом параметров

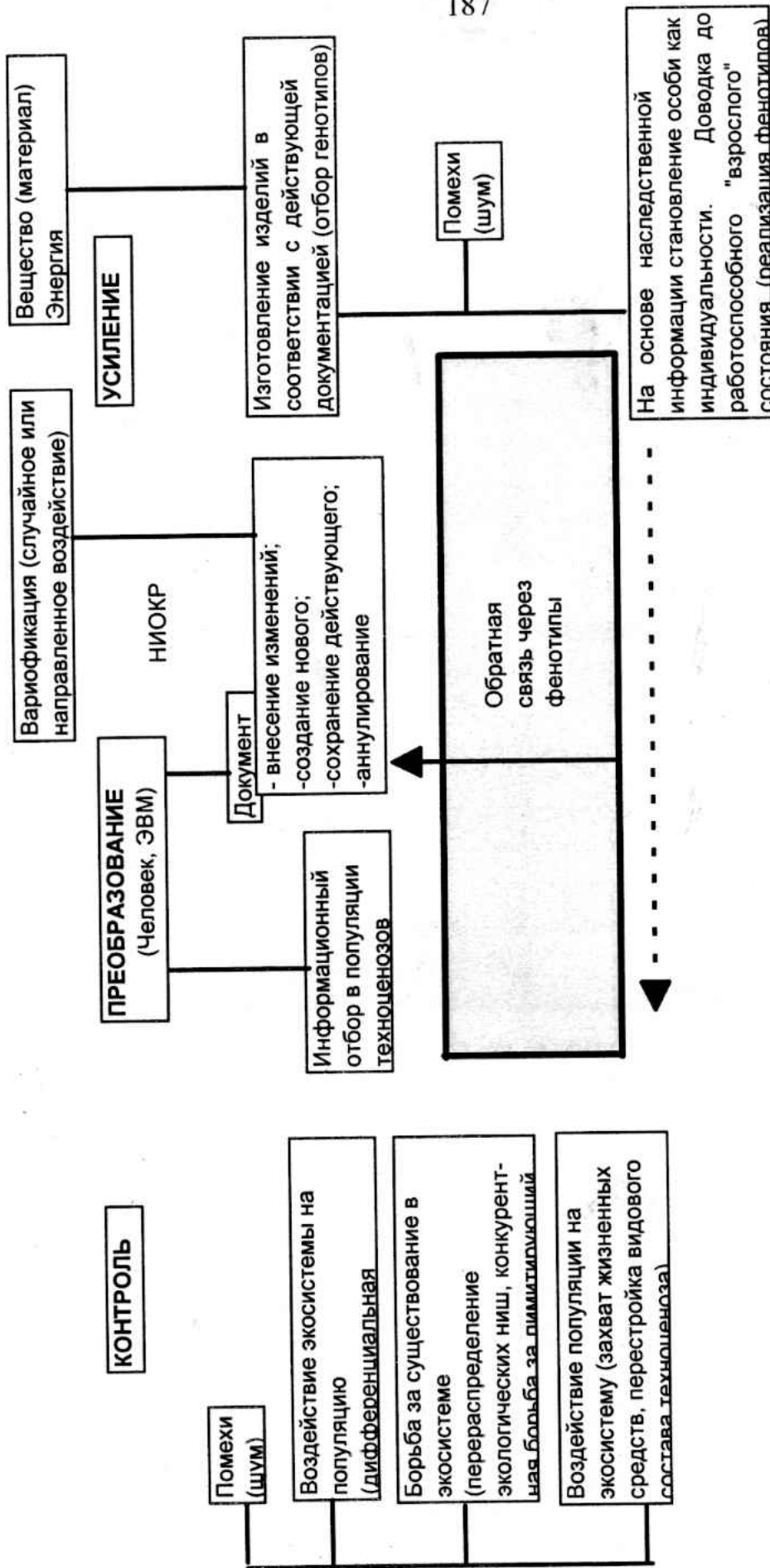


Рис. 5.1.2. Схема техноразвития Б.И. Кудрина. 1. Полная: документ - отбор генотипов - реализация фенотипов - воздействие популяции - борьба за существование - воздействие экосистемы - информационный отбор - закрепление информации. 2. Ускоренная: документ - отбор генотипов - реализация фенотипов - обратная связь через фенотипы - воздействие на документ.

надежности по нормальному закону распределения, наладочные, приемосдаточные испытания, включая сертификацию изделия; -3. Проектирование предприятий, зданий, сооружений (техноценозов) - проектирование размещения изделия на месте его использования (строительство - создание таких объектов как технологическая линия, участок, отделение, цех, производство, предприятие в целом); -4. Происходит передача и усиление наследственной (по документам) информации. В популяции техноценоза происходит увеличение (появление новой) информации, реализованной во время предыдущего цикла и закрепленной документально (генетически). Стадия собственно эксплуатации - управление электрооборудованием, определяемое технологией, техническое обслуживание, осмотры, профилактические испытания, текущий, средний, капитальный ремонт, модернизация; -5. Оценка принятых технико-экономических решений на всех предыдущих стадиях с выдачей рекомендаций на замену, проведение новых НИОКР и изготовления нового, ликвидация. По каналу обратной связи через реализованные изделия (фенотипы) оказывается воздействие на документ, либо минуя техноценоз (аннулирование при нежизнеспособном фенотипе или внесение изменений), либо через контроль, осуществляемый в техноценозе, где происходит постоянная борьба за существование. Результат борьбы за существование определяют лимитирующие факторы результат воздействия которых в конечном счете и определяется видовой (вернее популяционной) надежностью изделия, как формализации главного показателя отбора «хуже» или «лучше» приспособлены к условиям эксплуатации новая серия электродвигателя 4А по сравнению с А2.

Согласно циклу техноэволюции оценка должна включать в целом надежность, закладываемую конструкторами, надежность, определяемую изготовлением, техноценологическую надежность, вытекающую из конкретных условий эксплуатации (группа режима работы, техническое обслуживание, осмотры, профилактические испытания; текущий, средний, капитальный ремонт и модернизация). Важно разделить отказы в результате ошибок проектирования, дефектов производства (до 80% отказов [100]), качества электроремонта [92]. К такой оценке приближаются исследования [237].

Таким образом возможны три пути: 1) использование средних оценок надежности для конкретных особей; 2) уточнение вероятностных законов распределения характеристик надежности отказавшись от средних и выделяя однородные группы методами кластеризации (корректируя средние характеристики по классам); 3) введение новой системной меры надежности.

Учитывая достаточную проработку первого пути и несложность (больше техничность и автоматизацию) второго, в работе рассмотрен третий, опирающийся на ценологические основы системного анализа.

5.2. Надежностная модель формирования структуры ценоза

Теоретические положения структурно-топологической динамики H -распределений позволяют оценить надежность изделий ценозов и их живучесть в целом. Так как "вид" - область в пространстве признаков, рассмотрим случай, когда признаком является показатель надежности, который охарактеризуем числом восстановлений особей данного вида. На основе эмпирических данных строится модель видовой надежности системы в целом, что означает исследование распределения особей по видам и видов по повторяемости их надежностных характеристик.

Широкая распространенность закономерности, описываемая H -распределением с его "негауссовскими" особенностями и наблюдаемая на обширном статистическом материале, вызывают стремление понять процесс формирования закона и провести анализ глубинных механизмов его действия. Естественным шагом является построение математической модели процесса взаимодействия внутренних и внешних факторов, приводящей к эмпирически наблюдаемому распределению.

Массив ремонтируемых электрических двигателей формируется совокупным процессом функционирования в определенных условиях множества видов электрических двигателей, установленных на промышленном предприятии. В результате этого функционирования в определенных условиях внешней среды возникает массив особей, подвергающихся восстановлению. Процесс отказов в течение времени существования особи можно рассматривать как последовательность редких событий и отнести к пуассоновским, а процесс формирования массива особей, подвергшихся восстановлению - как стохастический процесс марковского типа.

Примем определение вида, отличное от рассматриваемого (статистическая устойчивость H -закономерности независимо от определения понятия вида уже рассматривалась). Будем понимать под видом установленную электрическую машину, которая потенциально может отказать и должна быть обслужена эксплуатационными службами. То есть, две машины одного вида, если они одинаковы по величине номинальной мощности, наименованию и обладают одинаковыми надежностными характеристиками, определяющими фактическую наработку машины до первого отказа (ремонта) или между последующими. Факт выхода в ремонт (требования в обслуживании) будем считать событием, элементом (особью), переходом из состояния в состояние, а вероятность перехода будет означать вероятность отказа. Под характеристикой состояния вида будем понимать число проведенных с ним ремонтов. Тогда процесс выходов в ремонт в течении срока службы электрической машины можно рассматривать как последовательность редких событий и отнести к пуассоновским процессам.

Примем следующую гипотезу: процесс формирования массива ремонтируемых электрических двигателей есть стохастический процесс марков-

ского типа, то есть каждый следующий шаг стохастически зависит лишь от состояния системы в данный момент (условия марковости процесса). Точнее, вероятность переходов в новое состояние на интервале $t, t+\Delta t$ должна быть функцией состояния, в котором находится система в момент t . Тогда для каждого вида переходов из состояния в состояние (очередной выход в ремонт, равно изменение состояния надежности) становится марковским, а вероятность перехода будет означать, собственно, вероятность выйти в ремонт.

Стохастический процесс марковского типа определяется следующими постулатами:

- вероятность перехода $x \rightarrow x+1$ в интервале $t, t+\Delta t$ есть $\lambda(x)\Delta t + O(\Delta t)$, то есть пропорциональна интервалу Δt , где $\lambda(x)$ - плотность перехода;

- вероятность двух и более переходов за время Δt есть $O(\Delta t)$ то есть пренебрежимо мало (второй порядок малости);

- вероятность отсутствия переходов на интервале Δt есть соответственно $1 - \lambda(x)\Delta t + O(\Delta t)$.

Отсюда получаем вероятность нахождения системы в состоянии x в момент $t + \Delta t$.

$$P_x(t+\Delta t) = (1 - \lambda(x)\Delta t)P_x(t) + \lambda(x-1)\Delta t P_{x-1}(t) + O(\Delta t). \quad (5.2.1)$$

Деля на Δt и переходя к пределу получается система дифференциальных уравнений для вероятности нахождения системы в состоянии x в момент t :

$$\frac{dP_0}{dt} = -\lambda_0 P_0(t), \quad (5.2.2)$$

$$\frac{dP_x(t)}{dt} = -\lambda(x)P_x(t) + \lambda(x-1)P_{x-1}(t), \quad x=1,2,\dots$$

Система (5.2.2) решается при начальных условиях:

$$P_x(0) = \begin{cases} 1, & x = 1 \\ 0, & x \neq 1 \end{cases}. \quad (5.2.3)$$

Это означает, что в момент начала моделируемого процесса вид должен находиться в соответствующем состоянии, то есть должен быть зарегистрирован, установлен, подключен и начал обрабатывать свой ресурс.

Решение (5.2.2) определяется зависимостью $\lambda(x)$ для которой примем простейшую линейную гипотезу, то есть $\lambda(x) = \lambda x$, где λ - коэффициент пропорциональности: вероятность перехода из данного состояния пропорциональна мере состояния. Иными словами, вероятность выхода в ремонт электрического двигателя $P(x \rightarrow x+1, \Delta t)$ за время $t, t+\Delta t$ пропорционально числу x проведенных за время Δt восстановлений (ремонтов) с коэффициентом пропорциональности - интенсивностью λ :

$$P(x \rightarrow x+1, \Delta t) \sim \lambda \times \Delta t. \quad (5.2.4)$$

Этот результат представляет собой простейшую математическую формализацию утверждения, что чем чаще ремонтировался электрический двигатель, тем хуже его надежность и больше шансов снова попасть в ремонт. Ниже это утверждение соотносится исследованиям (например [9, 193]) и эмпирическому материалу.

Выведенные [140] динамические модели вероятности безотказной работы являются исходными данными для построения модели вероятностей безотказной работы в будущие годы и получения информации о предыстории. Динамика отказов в t -м году эксплуатации определяет этот процесс в $t+1, t+2, \dots, t+k$ и последующие годы (табл. 5.2.1 по [140]). Это подтверждает выдвинутую гипотезу о процессе функционирования электрического двигателя в течении срока службы как марковского процесса (5.2.4). Десятипроцентный эффект мероприятий по устранению потока отказов не вызывает снижения функций параметра потока отказов $\omega(t)$, а приводит лишь к уменьшению интенсивности ее возрастания.

Согласно исследованиям, примем линейный характер плотности перехода $\lambda(x)$, что позволяет в качестве модели возникновения событий - выхода в ремонт каждого вида электрических двигателей в отдельности выбрать один из простейших вариантов ветвящегося (марковского) процесса - линейный процесс чистого размножения, или процесс Юла, для которого в нашей интерпретации вероятность события в данный момент прямо пропорциональна количеству уже произошедших событий.

Решая для линейной плотности перехода $\lambda(x)$ уравнение (5.2.2), например, методом производящих функций, получаем [328]:

$$P_x(t) = \begin{cases} e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{x-1}, & x = 1, 2, \dots, \\ 0, & x = 0 \end{cases} \quad (5.2.5)$$

где $P_x(t)$ - распределение вероятности нахождения системы в некотором состоянии x (количество проведенных восстановлений) в момент времени t для этого процесса; λ - прирост в единицу времени (скорость изменения) логарифма от числа отказов данного вида есть мера интенсивности ухудшения надежностных характеристик вида. В нашем случае выражение (5.2.5), представляющее распределение Юла-Фарри, описывает вероятность количества ремонтов x вида к моменту t .

Математическое ожидание процесса (среднее число ремонтов за время t) выражается формулой

$$x_t = e^{\lambda t}. \quad (5.2.6)$$

Таблица 5.2.1

Параметр потока отказов двигателей $\omega(t) \cdot 10^{-5}$

N-й год эксплуатации	Тип двигателя				
	АОГ 63-4	АОЛ 22-2	ТО-3/6 Ф	ТТ1-3/6 Ф	ТТМ1-4/6Ф
1	2.723	3.095	2.152	3.256	2.332
2	1.850	2.345	1.300	2.734	1.478
3	1.639	2.248	1.056	2.818	1.245
4	1.672	2.481	0.986	3.339	1.206
5	1.847	2.958	0.999	4.266	1.266
6	2.144	3.698	1.066	5.702	1.399
7	2.572	4.768	1.179	7.849	1.601
8	3.159	6.282	1.338	11.031	1.879
9	3.946	8.408	1.547	15.741	2.243
10	4.991	11.134	1.815	22.726	2.714

Таблица 5.2.2

Зависимость между наработками двигателя
до и после очередных ремонтов.

Номер ремонта	Тип двигателя					
	Э-164-8м			Э-240-8		
	$T_{ср}, ч$	$\sigma, ч$	η	$T_{ср}, ч$	$\sigma, ч$	η
1-й	123.9	190.4	0.749	154.4	111.5	0.634
2-й	91.7	93.0	0.984	110.8	72.1	0.687
3-й	87.6	80.9	0.965	107.7	84.5	0.724
4-й	80.5	84.0	0.965	104.8	80.3	0.708
5-й	78.6	83.5		101.5	78.8	

Выясним смысл параметра интенсивности процесса λ , дифференцируя (5.2.6) по времени

$$\frac{dx_t}{dt} \equiv x_t' = \lambda e^{\lambda t} = \lambda x_t;$$

$$\lambda = \frac{x_t'}{x_t} = \frac{dx_t}{x_t} \Big| dt = \frac{d \cdot \text{Ln} x_t}{dt}, \quad (5.2.7)$$

или логарифмируя

$$\text{Ln} x_t = \lambda t, \quad \lambda = \frac{\text{Ln} x_t}{t}. \quad (5.2.8)$$

Параметр λ , интерпретируемый как относительный прирост числа событий (ремонтов или другого вида обслуживания) - темп роста, или как прирост в единицу времени (скорость изменения) логарифма от числа ремонтов данного вида электрического двигателя и характеризующий интенсивность процесса, является мерой активности использования вида электрического двигателя, интенсивности ухудшения его надежностных характеристик. Величина $t = 1/\lambda$ будет являться средней продолжительностью безотказной работы. Параметр λ индивидуален и различен для различных видов, определяя в комплексе их надежностные характеристики (условия работы и др).

Имеются исследования корреляционной зависимости между наработками двигателей до и после очередных ремонтов и связи параметра потока отказов обмотки с этой зависимостью, например [135, 136]. Для исследуемых двигателей корреляционное отношение η между соседними наработками до отказа (табл. 5.2.2 по [135]) колеблется от 0.63 до 0.91. Достаточно большие значения корреляционного отношения указывают на наличие существенной связи между наработками на отказ до и после очередных ремонтов, которой нельзя пренебрегать при оценке параметра потока отказов, T_{cp} - среднее время наработки до первого отказа. Если через $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ обозначить случайные значения наработки до отказа соответственно до первого, второго, n-го ремонтов, то функции $f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)$ будут отвечать плотностям распределения наработки между отказами. Функции $f(t)$ получаются на основании аппроксимации статистических данных об отказах. После определенной суммарной наработки поток отказов двигателя становится стационарным и не зависит от корреляции между наработками после очередных ремонтов. Это свидетельствует о наличии экспоненциальной зависимости.

Срок службы электрического двигателя как вида ограничен и является случайной величиной. Предполагая вероятность окончания срока службы вида постоянной в каждый момент времени (эта величина определяется в

основном двумя противоречивыми факторами: возрастающей интенсивностью использования и возрастающей трудностью замены), приходим к показательному распределению срока службы вида:

$$P(t) = \mu e^{-\mu t}, \quad (5.2.9)$$

где μ - параметр распределения, характеризующий среднюю наработку между отказами, а само выражение аналогично известному из теории надежности распределению времени бесперебойной работы технических устройств.

Результат функционирования вида за время t описывается распределением (5.2.5): $P_x(t) \equiv P(x/t)$ и носит индивидуальный характер. Эмпирически наблюдаемый на массиве ремонтируемых электрических двигателей процесс функционирования видов представляет собой результат усреднения срока службы по множеству видов с различными надежностными параметрами

$$P(x) = \int_0^{\infty} P(x/t) P(t) dt. \quad (5.2.10)$$

Учитывая, что параметр времени t , характеризующий индивидуальное распределение (5.2.5), оказывается случайным рандомизированным, для получения окончательного распределения результатов процесса функционирования множества видов, наблюдаемого на опыте за достаточно большие промежутки времени, следует усреднить $P(x/t)$ по параметру t , распределенному по показательному закону [328]:

$$P(x) = \int_0^{\infty} P(x/t) \cdot P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{x-1} \mu e^{-\mu t} dt. \quad (5.2.11)$$

Ветвящийся процесс такого типа, описывающий в окончательном виде формирование массива ремонтируемых электрических двигателей, будем называть рандомизированным ветвящимся процессом. Случайные процессы, в свою очередь, зависящие от случайного параметра, по которому они усредняются, в частности, для соотнесения с эмпирическими данными, принадлежат к классу так называемых подчиненных, или управляемых, процессов по определению В. Феллера [292]. В данном случае таким случайным параметром, определяющим, "ведущим" процесс, выступает срок службы вида, который "подчиняет" ветвящийся процесс Юла с распределением (5.2.5) распределению $P(t)$.

Определяя в эмпирическом распределении долю видов с данным межремонтным периодом, мы неявно усредняем по времени бесперебойной работы эти виды. Различаем не индивидуально - сколько раз побывала в ремонте та или иная особь-двигатель, а только по конечному результату - надежностной характеристикой вида.

Интегрируя (5.2.11) при показательном законе для $P(t)$ [328], получается в итоге распределение, пропорциональное бета-функции:

$$P(x) = \frac{\mu}{\lambda} B(x, \frac{\mu}{\lambda} + 1) = \alpha B(x, \alpha + 1), \quad x = 1, 2, \dots \quad (5.2.12)$$

где $B(x, \alpha + 1) = \Gamma(x) \Gamma(\alpha + 1) / \Gamma(x + \alpha + 1)$ - бета-функция; $\Gamma(x) = (x-1)!$ - гамма-функция; $\alpha = \mu / \lambda$ - характеристический показатель. В частности, при $\alpha = 1$, $P(x) = 1 / [x(x+1)]$ предлагается [328] называть класс распределений, пропорциональных бета-функции: $P(x) = \alpha B(x, \alpha + 1)$ распределениями Юла. Этот термин уже неоднократно использовался в работах Б. Мандельброта, М. Кендалла и др. Поэтому можно называть распределение (5.2.12) распределением Юла (очевидно, что применяемое нами Н-распределение относится к этому же классу распределений).

Отметим возможность оценки параметра $\alpha = \mu / \lambda$. Пусть $n_1 \equiv P(1)$ доля видов, которые по определению вида встретились в распределении по одному разу (доля двигателей с индивидуальными надежностными характеристиками) по определению $P_1 = \alpha \Gamma(1) \Gamma(\alpha + 1) / \Gamma(\alpha + 2)$. Учитывая, что $\Gamma(1) = 1$, $P(x+1) = x \Gamma(x)$, получаем

$$\alpha = \frac{P_1}{1 - P_1} = \frac{n_1}{u - n_1} \quad (5.2.13)$$

Формула может быть использована для предварительного, приближенного расчета показателя α еще до статистической обработки эмпирических данных [328].

Определим математическое ожидание M_x и дисперсию D_x распределения Юла:

$$M_x = \sum_{x=1}^{\infty} x P(x) = \int_0^{\infty} dt \mu e^{-\mu t} e^{-\lambda t} \sum_{x=1}^{\infty} x (1 - e^{-\lambda t})^{x-1} \quad (5.2.14)$$

На основании этого выражения получаем для математического ожидания

$$M_x = \begin{cases} \infty, & \alpha \leq 1, & (\mu \leq \lambda) \\ \frac{\alpha}{\alpha - 1}, & \alpha > 1 & (\mu > \lambda) \end{cases} \quad (5.2.15)$$

Аналогично находим выражение для дисперсии

$$D_x = \begin{cases} \infty, & \alpha \leq 2 \\ \frac{1}{\alpha - 2} \cdot \left(\frac{\alpha}{\alpha - 1} \right)^2, & \alpha > 2 \end{cases} \quad (5.2.16)$$

Асимптотика для распределения Юла (5.2.12) получается следующим образом. Исходя из формулы Стирлинга, $x \rightarrow \infty$

$$\frac{\Gamma(x)}{\Gamma(x + \alpha + 1)} \rightarrow \frac{1}{x^{\alpha+1}}. \quad (5.2.17)$$

Подставляя (5.2.17) в (5.2.12) получаем асимптотическую сходимость распределений Юла к исходному ципфовому закону в частотной форме (частотному видовому распределению в наших терминах):

$$P(x) \approx \alpha \Gamma(\alpha + 1) \cdot \frac{1}{x^{\alpha+1}} \quad (5.2.18)$$

Полагая для малых α , что $\Gamma(\alpha+1) \approx 1$ получаем из (5.2.18) пронормированную форму видового распределения:

$$P(x) \approx \frac{\alpha}{x^{\alpha+1}} \quad (5.2.19)$$

где $\alpha = \mu / \lambda$ - характеристический показатель распределения.

Задача решена в том смысле, что построена математическая модель причинного описания формирования массива ремонтируемых электрических двигателей, которая, с одной стороны, удовлетворяет естественным теоретическим гипотезам о природе ремонтно-восстановительного процесса, а с другой, приводит к эмпирически установленному распределению видов электродвигателей по повторяемости. Это является теоретическим подтверждением устойчивости закономерности и практическим подтверждением модели. Модель демонстрирует вывод распределения видов по повторяемости на основе гипотезы, согласно которой функционирование видов электрических двигателей рассматривается как ветвящийся процесс размножения с нарастающей эффективностью результатов, ограничиваемый случайным сроком службы электродвигателя (рандомизация процесса). Эмпирическим подтверждением модели являются данные табл. 5.2.3.

Индивидуальный срок межремонтных периодов (разнящийся со всеми остальными) имеет 41 электрический двигатель (каждая особь-свой вид). Существует большая группа видов, представленная малым числом особей и группы электрических двигателей с одинаковыми показателями надежности, которые имеют одинаковые межремонтные периоды. Хотя конкретный состав групп распределения меняется по видам, но численность их в процентном отношении к общей численности устойчива. Закономерность описывается классом Н-распределений, но при новом определении вида.

Исходя из определения вида, содержащего такую качественную характеристику как продолжительность безотказной работы, и из полученного теоретически и подтвержденного эмпирически распределения видов по повторяемости, сводимое к (5.2.12), (5.2.19) объяснима причина невозможности обеспечения выбора оптимального варианта, которая определяется

Таблица 5.2.3.

Распределение видов электрических двигателей
прокатного цеха Кузнецкого металлургического комбината
по повторяемости времени выхода в ремонт за год, штук.

К	i	W(i)	i W(i)	К	i	W(i)	i W(i)
1	1	41	41	19	26	3	78
2	2	25	50	20	27	1	27
3	3	15	45	21	28	1	28
4	4	5	20	22	31	1	31
5	5	11	55	23	32	1	32
6	6	5	30	24	33	3	99
7	7	2	14	25	37	1	37
8	8	3	24	26	40	2	80
9	9	4	36	27	43	1	43
10	10	3	30	28	52	1	52
11	11	2	22	29	59	1	59
12	12	4	48	30	61	1	61
13	16	2	32	31	65	1	65
14	17	2	34	32	66	1	66
15	18	1	18	33	67	1	67
16	19	1	19	34	68	1	68
17	21	2	42	35	72	1	72
18	25	1	25	36	75	1	75
Итого:						S=152	U=1625

Примечание: К - каста; i - количество штук-особей одинаковых по времени выхода в ремонт электрических двигателей (электрические двигатели одного вида); W(i) - повторяемость времен выхода в ремонт (количество видов), iW(i) - количество особей в касте.

существующей в промышленной энергетике системой планирования периодичности планово-предупредительных ремонтов электрооборудования. В соответствии с усредненными нормативами для определенного вида электрооборудования (режима работы по ППР) независимо от его показателей надежности, связанных с конкретными условиями работы, сроком службы и др., устанавливаются единая структура и средняя продолжительность ремонтных циклов, тогда как для предлагаемого нами класса распределений среднее характерно не для большинства. То есть не существует в среднем какого-то оптимального межремонтного периода даже для однотипного электрооборудования.

Проведение ремонтов электрооборудования в соответствии с его индивидуальной оптимальной периодичностью нецелесообразно, так как это привело бы к неоптимальности в целом мероприятий по плановым ремонтам (диапазоны значений оптимальной периодичности ремонта однотипного электрооборудования различны из-за различий значимости в обеспечении бесперебойной работы различных технологических механизмов). Существующие методы и модели автоматизированного вычисления оптимальных периодичностей ремонта на базе информации о работе электрооборудования в условиях эксплуатации конкретного промышленного предприятия могут быть использованы с корректировкой на выравнивании трудоемкости по N -распределению.

Распределение по повторяемости видов, в основе определения которых лежит надежность характеристика приводит к классу устойчивых негауссовых распределений. Исследования надежности функционирования ценоза в целом не правильно основывать только на изучении конкретных особей и даже на анализе надежности "среднего" вида. Нельзя изучать характеристики надежности особей, функционирующих в конкретных условиях окружающей среды, а затем распространять их усредненные значения на аналогичные особи в сходных условиях других ценозов (без применения специальных методов), так как свойство предельной негауссовости практически проявляется в существенной зависимости эмпирического среднего от объема выборки и изменении его от выборки к выборке. В различных ценозах конкретные условия внешней среды накладывают каждый раз свои индивидуальные особенности, чаще всего значительно отличающиеся даже для одноименных ценозов. В этой связи методы оценки надежности функционирования ценозов должны основываться на данных по видовой структуре в целом - общей по форме модели, но индивидуальной для каждого ценоза по содержанию.

5.3. Метод оценки видовой надежности электрооборудования ценоза

Для системной оценки надежности всей негауссовой структуры техноценоза в целом необходима системная оценка, опирающаяся на теорию техноэволюции. Согласно циклу техноэволюции эта оценка должна включать в целом надежность, закладываемую конструкторами, надежность изготовления и надежность в конкретных условиях эксплуатации (режим работы, техническое обслуживание и ремонт) как ценологического критерия надежности.

Формализация оценки видовой надежности электрооборудования возможна посредством структурно-топологической динамики H -распределения. Производится сравнение первых производных от функций, описывающих H -распределение выборок ремонтируемого и установленного электрооборудования одной генеральной совокупности: если скорость движения вида по H -распределению ремонтируемого электрооборудования, имея одинаковый знак, превышает скорость движения вида по H -распределению установленного, то эксплуатационная оценка надежности вида низка, если наоборот - высока.

Иными словами, производится сравнение углов наклона уравнений (трендов) для одного и того же вида, но качественно различной природы выборок. Случай равенства углов - идеальный случай соответствия надежности вида условиям эксплуатации.

Рассмотрим три графика:

1) если угол наклона тренда к временной оси для установленного электрооборудования φ_y одного вида, больше чем соответствующий угол ремонтируемого электрооборудования φ_p того же вида, то можно сказать, что надежность вида закладываемая конструкторами в данный вид слишком высока (рис. 5.3.1.а.);

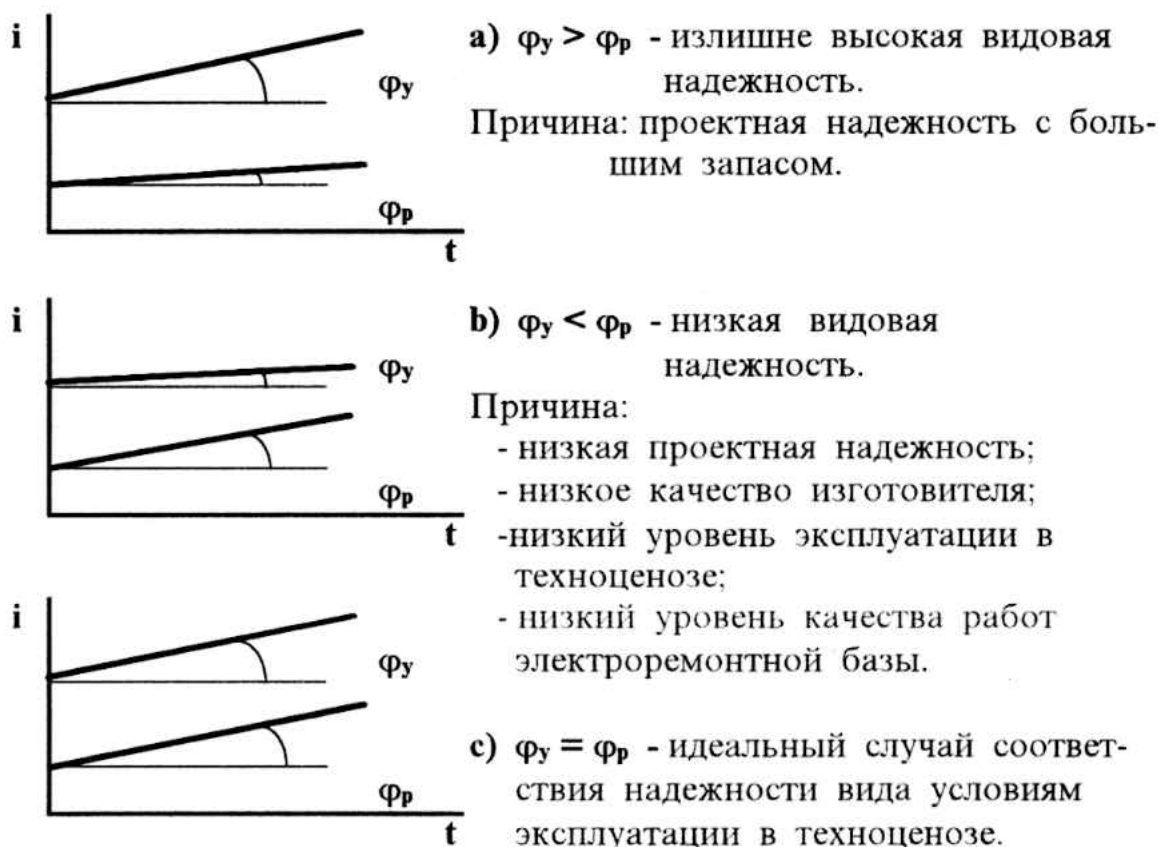
2) если знак меняется с "больше" на "меньше", то есть $\varphi_y < \varphi_p$, то в этом случае надежность вида низка, данный вид чаще и чаще появляется в ремонте (рис. 5.3.1.б.);

3) знак "равенство" между углами, то есть $\varphi_y = \varphi_p$, говорит об идеальном случае соответствия надежности вида. Иными словами, надежность вида, закладываемая при его конструировании соответствует надежности, закладываемой при ремонте и эксплуатации.

Для примера рассмотрим вид 0,27 кВт АОЛ, эксплуатируемый на ПО "Абаканвагонмаш". Встречаемость его в ремонтных квартальных выборках:

Согласно цикла техноэволюции видовая надежность - системная оценка надежности вида электрооборудования, включающая :

1. Надежность конструкции (проекта) ;
2. Надежность изготовления ;
3. Надежность эксплуатации (режим работы, техническое обслуживание, ремонт).



Задачи оценки видовой надежности :

1. Формализация критерия для оптимизации количества и сроков обновления серий электрооборудования.
2. Расчет объемов и скорости изнашивания видов электрооборудования в конкретных условиях эксплуатации при изменении качества, металлоемкости, надежности изготовления.
3. Формализация компенсации (согласованности) процесса выпуска (выбора, установки) разнообразного электрооборудования с процессом эксплуатации (сроком службы) в конкретных техноценозах (однородных группах) .

Рис. 5.3.1. Метод оценки видовой надежности электрооборудования.

квартал	штук	квартал	штук
1	9	1	23
2	2	2	17
3	5	3	16
4	13	4	13

Тренд по методу наименьших квадратов [46]:

$$a = \frac{\sum y_t}{n} ; \quad b = \frac{\sum y_t \cdot t}{\sum t^2} ;$$

$$y = a + bt = 12,25 + 0,55t, \quad b = \operatorname{Tg} \varphi, \quad \varphi = 56,3^\circ, \quad (5.3.1)$$

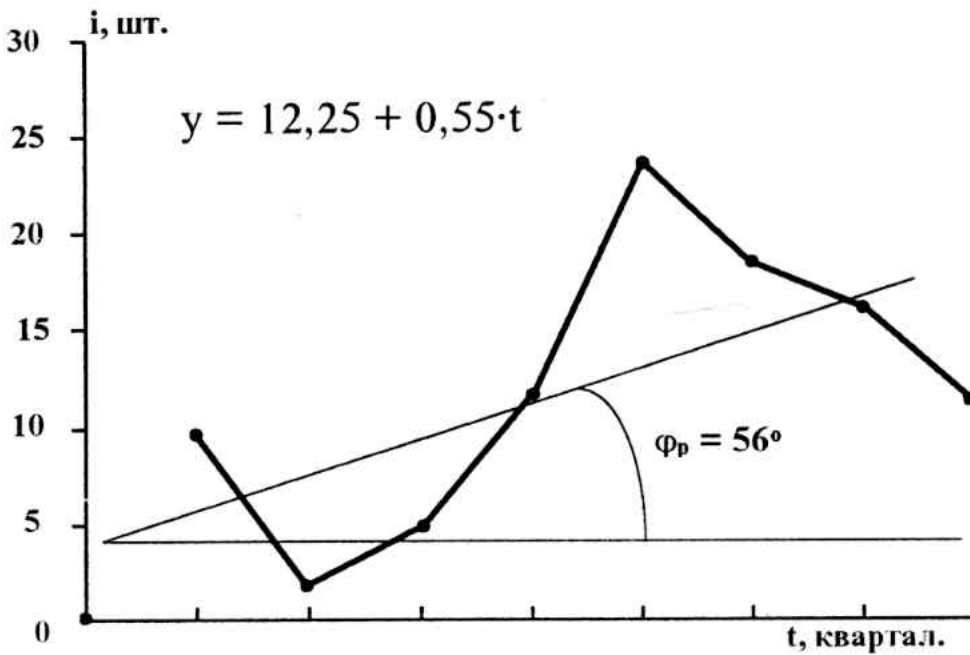
Таким образом, угол наклона движения вида по ремонтной выборке $\varphi_p = 56,6^\circ$. Угол наклона тренда по установленной выборке этого же вида $\varphi_y = 37^\circ$. Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что надежность вида 0,27 АОЛ достаточно низка - рис. 5.3.2.

Теоретические положения структурно-топологической динамики (разд. 2) позволяют по новому подойти к анализу и оценке надежности изделий техноценозов и живучести их совокупности в целом. В качестве обобщенной количественной оценки видовой надежности структуры в целом или живучести техноценоза предлагается использовать понятие обобщенного угла (обобщенной производной) - сумма углов наклона всех траекторий к временной оси:

$$\varphi_0 = \sum_{i=1}^r \varphi_i . \quad (5.3.2)$$

Ценологический критерий надежности (оценки живучести структуры техноценоза) формулируется следующим образом: если обобщенная производная от траектории движения видов по плоскости Н- распределения в фиксированный момент времени равна нулю, то структура техноценоза в данный момент времени способна выполнить заданные функции в оптимальном по надежности решении (с заданными параметрами при минимальных затратах). Оценка для техноценоза (для ПО Абаканвагонмаш, например, как и по другим) показала, что обобщенный угол много больше нулевого значения. Это означает отсутствие обратной связи: конструирование, изготовление, эксплуатация, оценка. Выпуск разнообразного электрооборудования некомпенсирован процессами эксплуатации электрооборудования конкретных техноценозов. Надежность испытываемых изделий на заводах изготовителях велика, а надежность тех же изделий в техноценозах при эксплуатации низка.

I. Выборки ремонтируемых по квартально электрических двигателей :



II. Для установленных электрических двигателей (генеральная совокупность) :

$$\varphi_y = 37^\circ$$

III. $\varphi_p > \varphi_y \rightarrow$ видовая надежность вида 0,27 АОЛ для условий техноценоза АО "Абаканвагонмаш" - НИЗКА. Необходимо увеличить видовую надежность на 31%.

Рис. 5.3.2. Оценка видовой надежности вида 0,27 кВт АОЛ для АО Абаканвагонмаш.

Предлагаемые методы оценки надежности позволяют получить данные об объемах и скорости изнашивания отдельных видов электрооборудования в конкретных условиях эксплуатации при изменении качества, металлоемкости, надежности при изготовлении и дают количественные критерии для разработки рекомендаций электротехнической промышленности по оптимальному количеству и скорости (срокам) обновления серий электрооборудования.

ВЫВОДЫ по главе V

1. Распределение электрических двигателей по повторяемости времени выхода в ремонт соответствует распределению Юла, приводящего к классу устойчивых негауссовых распределений. Поэтому исследования надежности нельзя основывать не только на изучении каждого конкретного двигателя (из-за практической счетности), но и на анализе надежности "среднего" вида. Методы оценки надежности функционирования ценозов должны основываться на данных по видовой структуре в целом - общей по форме модели, но индивидуальной для каждого ценоза по содержанию.

2. Введенная видовая системная оценка надежности, опирающаяся на теорию техноэволюции, включает в целом надежность, закладываемую конструкторами, надежность изготовления и надежность конкретных условий эксплуатации (режим работы и техническое обслуживание) и формализуется структурно-топологической динамикой H -распределения.

3. Обобщенная количественная оценка видовой надежности структуры в целом как критерий оценки живучести структуры техноценоза использует понятие обобщенного угла (обобщенной производной) как суммы углов наклона всех траекторий структурно-топологической динамики H -распределения к временной оси. Обобщенный угол много больше нулевого значения, что означает отсутствие обратной связи: конструирование, изготовление, эксплуатация - выпуск разнообразного электрооборудования некомпенсирован процессами эксплуатации его в конкретных техноценозах.

4. Предлагаемые методы позволяют получить данные по надежности отдельных видов электрооборудования при конкретных условиях эксплуатации, что дает количественные оценки рекомендациям электротехнической промышленности по оптимальному количеству и скорости (срокам) обновления серий электрооборудования и по повышению их надежности в целом при техническом перевооружении предприятия различных отраслей.