



# Система описания характеристических параметров состояния объектов и ее связь с консолидированной информацией об объектах

**Т.А. Чернова**

профессор кафедры «Электроника и информатика» НИУ МАИ; Москва

**А.А. Лисов**

профессор кафедры «Электроника и информатика» НИУ МАИ; Москва

**П.В. Кубрин**

аспирант кафедры «Электроника и информатика» НИУ МАИ; Москва

В последние годы в практике эксплуатации сложных технических объектов наблюдается тенденция перехода к широкому внедрению методов их контроля по состоянию. При этом названные объекты различной физической природы рассматриваются как сложный объект, ориентированный на достижение определенной цели, и могут быть представлены значительным числом параметров и существенным многообразием их значений. В силу высокой размерности задачи описания объектов переход на контроль по состоянию связан с определенными трудностями [1, 2]. Чтобы их обойти, предлагается использовать модель наблюдаемых в объектах процессов, параметры которой служат характеристическими параметрами указанного состояния.

Поскольку значения характеристических параметров могут иметь различную размерность, для их безразмерного описания используют балльную систему оценок [1, 3]. С другой стороны, если число параметров модели равно  $I$ , а число градаций их значений в баллах по каждому из них равно  $J$ , то число возможных сочетаний  $J$  по  $I$  (или вариаций баллов) рассчитывается как  $K = J^I$ . При этом вероятность каждой из вариаций характеризует разрешение метода. Реальное же разрешение определяется выбором измерительного устройства для регистрации измеряемых величин.

Рассмотрим пример оценки состояния магнитной системы силового маслонаполненного трансформатора. Моделью для описания его состояния

может служить магнитный гистерезис, заданный параметрами петли гистерезиса, характеризующими состояние магнитной цепи трансформатора. Среди этих параметров, согласно теории Реллея, следует назвать: площадь петли гистерезиса, остаточное намагничивание, коэрцитивную силу, отношение максимального значения сигнала возбуждения к сигналу реакции.

В свою очередь экспериментальные методы изучения гистерезиса, предложенные в разное время разными авторами, преследуют одну цель – по возможности точно зафиксировать параметры петли. Их значения фиксируют по отклонению от значений параметров петли гистерезиса модели эталона. Об эталоне имеется достаточно полная априорная информация, поскольку известны его конструкция, технология изготовления и условия эксперимента. В данном случае названные параметры объекта, оцениваемые по отклонениям от параметров эталона, по своей сущности служат *характеристическими параметрами состояния* объектов.

Характеристические параметры независимы друг от друга и способны меняться в процессе отработки объектами их ресурса. В свою очередь, поскольку на величину каждого из *определяемых параметров* ( $X_{ij}$ ) оказывают влияние случайные факторы, значения величин этих параметров определяются с некоторой погрешностью ( $x_{ij}$ ), характеризующей отклонения значений данных параметров от значений параметров эталона. При этом предполагается, что распределение плотности вероятности ( $p_{ij}$ ) погрешностей  $x_{ij}$ , где  $i$  – номер определяемого параметра ( $i = 1, 2, \dots, I$ ),  $j$  – номер деления (или балл) по шкале измерительного устройства ( $j = 1, 2, \dots, J$ ), в доверительном интервале их измерения подчиняется закону распределения, близкому к нормальному закону:

$$f(x) = \left( \frac{1}{\sigma(x)\sqrt{2\pi}} \right) \cdot \exp\left( \frac{-(x - M(x))^2}{2\sigma^2(x)} \right),$$

где  $\sigma(x)$ ,  $M(x)$  – параметры нормального закона распределения (среднее квадратическое отклонение случайной величины  $x$ , и ее математическое

ожидание, соответственно). В свою очередь переход к балльной системе регистрации измеряемых значений величин ( $X_{ij}$ ) различных параметров ( $I$ ) позволяет использовать при их оценке одинаковое число поддиапазонов ( $J$ ) шкалы измерительного устройства. Соответственно, число границ этих поддиапазонов равно  $(J + 1)$ . При этом, чтобы попадание в каждый из поддиапазонов шкалы этого устройства было равновероятным, границы поддиапазонов устанавливаются с помощью таблиц значений функции Лапласа [3]:

$$P\{x_{ij} < x_i < x_{ij+1}\} = \Phi_n\left(\frac{x_{ij+1}}{\sigma_i}\right) - \Phi_n\left(\frac{x_{ij}}{\sigma_i}\right).$$

Соответственно, для одного из фиксируемых параметров  $x_i$  будем иметь:

$$P\{x_{ij} < x_i < x_{ij+1}\} = 1/J.$$

Далее по найденным соотношениям находят значения интегралов вероятностей и определяют границы поддиапазонов выборки из общего количества измерений.

Практически для установления номера балла измеряемого параметра  $x_{ij}$  на предварительном этапе измерений находят границы диапазона проводимых измерений. Далее, используя функцию распределения плотности вероятности нормального распределения  $x_{ij}$ , фиксируют значения этих границ  $-3\sigma$  и  $+3\sigma$ . Попадание значения  $x_{ij}$  в соответствующий поддиапазон в установленном диапазоне позволяет присвоить ей соответствующий номер – балл. Совокупность этих баллов образует систему балльных оценок, представленную в виде вариаций баллов параметров (в нашем случае параметров петли гистерезиса).

Для всего многообразия возможных вариаций в рассматриваемом примере при  $I = 4, J = 8$ , получаем  $K = 4096$ . Зависимость  $K$  от  $J$  при заданном  $I$  представлена на графике (рис. 1). Фактическое же число фиксируемых вариаций при эксперименте обычно существенно меньше, чем их расчетное общее количество. В свою очередь значение каждой из вариаций ( $\Lambda$ ) можно задать кодом ( $k$ ), характеризующим ее порядковый номер в объеме названного множества ( $K$ ). Для определения  $k$  воспользуемся соотношением:

$$k = \sum_{i=1}^{I-1} (\Lambda_i - 1) \cdot J^{I-i} + \Lambda_I,$$

где  $I$  – количество диапазонов,  $J$  – количество поддиапазонов,  $\Lambda$  – вариация баллов характеристических параметров состояния каждого из объектов. Если для примера  $I = 4, J = 8, \Lambda = 2648$ , то  $k = 864$ .

Методическую погрешность измерений, характеризующую отклонение результатов измерения от их истинного значения, находят следующим образом:  $1/J$  – методическая погрешность. Очевидно, чем больше  $J$ , тем меньше методическая погрешность  $1/J$ .

Количество возможных вариаций в определенном смысле эквивалентно разрешающей способности метода, что позволяет построить зависимость разрешающей способности  $K$  от  $J$  при фиксированных  $I$  (рис. 1). Можно было бы значительно увеличить  $J$  (например, до 100 и более), но в этом случае возникают технические трудности, связанные с обеспечением разрешающей способности измерительного устройства.

Оптимальное число градаций шкалы  $J = J^*$  находят на основе оптимального компромиссного решения, нивелируя затраты  $C_r(J)$  и  $C_k(J)$ , соответственно, на рекламации и контроль (рис. 2). При этом минимизируют суммарные затраты, определяя минимум суммы однородных частных целевых функций  $C_r(J)$  и  $C_k(J)$  [4]:

$$C_r(J) + C_k(J) \rightarrow \min.$$

Анализ результатов испытаний свидетельствует о высокой разрешающей возможности введенной шкалы балльной оценки.

Остановимся на процессе накопления информации контроля рассматриваемых объектов в банке данных. В данном случае предполагается регистрировать каждую ранее не встречавшуюся вариацию параметров в последующих по времени периодах (рис. 3). При этом основной объем появления новых кодов приходится на начало

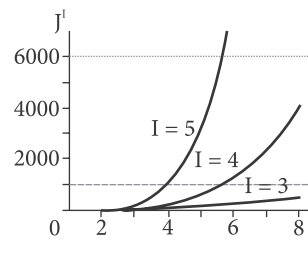


Рис. 1. Зависимость разрешения  $K$  от  $J$  при заданном  $I$

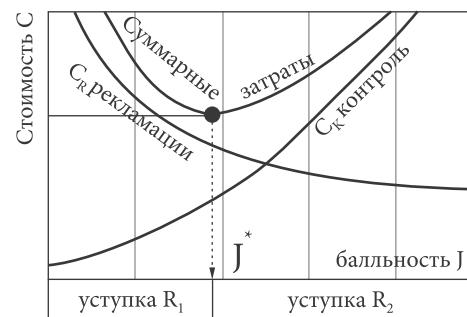


Рис. 2. Определение числа градаций  $J^*$  шкалы оценки значений параметров

Таблица 1.

**Вариация баллов параметров для объектов партии**

№	$\Lambda$	$k$
1	4543	1819
2	3443	1243
3	5454	2276
4	5652	2402
...	...	...

Таблица 2.

**Вариация баллов параметров за время отработки объектом ресурса**

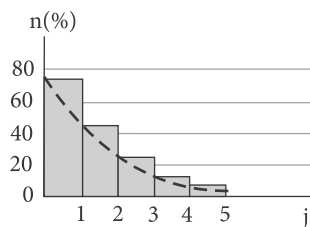
№	$k$	$\alpha$
1	2277	0.37
2	1765	0.36
3	1766	0.34
4	1262	0.31
...	...	...

процесса. При переходе же к последующим периодам их количество убывает. Это иллюстрирует достаточно высокое разрешение метода. Накопление повторяющихся кодов тех объектов, которые поступают на контроль, происходит в банке данных. При этом информацию по каждому коду фиксируют (рис. 4), причем только для тех кодов, значения которых превышает 10% от общего количества зафиксированных в течение проведения контроля.

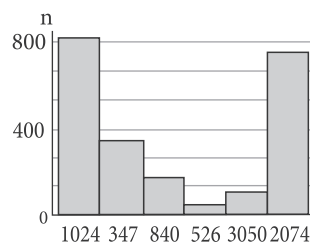
Опыт показывает, что каждому коду соответствует свое определенное состояние объектов, поэтому и значения кодов будут различными. Так для вариаций с кодом 1024 число повторений оказалось равным 74, для объекта с кодом 47 зафиксировано 58 повторений и т.д. В нашем случае число выделенных кодов составляет 6 штук, тогда как на других кодах число повторений не превышает 10% от числа проведенных измерений, поэтому они на диаграмме не представлены.

Разброс многократно повторяющихся кодов позволяет оценить качество технологического процесса изготовления объектов рассматриваемой партии. В свою очередь он дает возможность выявить наиболее критичные операции технологического процесса. Одновременно оценивается стабильность выпуска объектов и осуществляется корректировка отдельных операций технологического процесса. Можно проследить изменения значений вариаций баллов характеристических параметров для объектов партии (табл. 1).

Особое значение имеет слежение за изменениями названных вариаций в одном из объектов в процессе отработки им ресурсов. В нашем случае эта операция смоделирована на примере однофазного линейного трансформатора ТК-263-АН [5,6]. Чтобы ускорить процесс старения образца, его эксплуатируют со значительной перегрузкой по напряжению (табл. 2).



**Рис. 3. Интенсивность загрузки банка в зависимости от времени регистрации исходной информации**



**Рис. 4. Диаграмма количества запросов по соответствующим кодам (k) в течение заданного периода времени**

В предложенной методике код представляет собой «физическую метку» состояния (ФМ), характеризующую совокупность свойств каждого из объектов, например его работоспособность в данный момент времени. ФМ предопределяется, в частности, деградацией свойств и возникновением при этом сопутствующих им явлений. С другой стороны, ФМ отвечает некоторая консолидированная информация (КИ), определяющая необходимые действия оператора по корректировке состояния объектов и содержащаяся в банке данных. КИ содержит рекомендации по устранению отклонений состояния объектов от нормы и по выбору технически допустимого режима их функционирования [7]. Подобная связь хорошо согласуется с представлениями теории распознавания образов, где ФМ может быть представлена в качестве характеристического признака, подобного отпечаткам пальцев или генетическому коду.

Накопление КИ является процессом самообучения системы контроля. Запись банка данных содержит расширенный набор паспортных данных для изделия, значение комплексного показателя качества и типовое управляющее решение. Самообучение контрольно-измерительных модулей происходит по следующему алгоритму: в ходе сплошного контроля определяется ФМ состояния изделия, по ФМ проводится обращение в банк типовых решений для получения запи-

си. В соответствии с содержимым записи изделие аттестуется, генерируется сигнал – команда на исполнительный орган объекта управления и формируется информация на пополнение статистики. Контролируемые объекты, для которых нет информации в банке, направляются на диагностические испытания по полной программе для формирования записи, помещаемой в банк.

Взаимосвязь ФМ и отвечающей ей КИ является основой решения проблем накопления и многократного использования информации об объектах. Здесь имеет место определенное загромождение результатов измерений, но с этим приходится мириться, так как для решения проблемы необходимо одновременно регистрировать совокупность всех исходных параметров. В сочетании с КИ эта совокупность используется для анализа качества технических и технологических особенностей контролируемых объектов.

Таким образом, разработана методическая основа определения характеристических параметров сложных технических объектов, осуществлен переход к балльной системе оценки этих параметров, установлена взаимосвязь состояния объектов с их консолидированной информацией и предложена методика установления комплекса

характеристических параметров, необходимых для определения состояния рассматриваемых объектов.

## Литература

1. Лисов А.А., Миргазев Р.Т., Тепленков Н.Н., Федотов И.В. Накопление консолидированной информации о состоянии электротехнического оборудования и оперативный поиск ее в базе данных// Измерительная техника. – 2008. № 8.
2. Марчук Г.И., Образцов И.Ф., Седов Л.И. Общый методологический подход к оценке надежности машин. «Машиностроение». Научные основы прогрессивной техники и технологии. М. 1986 год.
3. Вентцель Е.С. Математическая статистика. «Физматиздат». М. 1992.
4. Растринин Л.А. Системы экстремального управления. «Наука». М. 1974 .
5. Пустовая Д.А. Электрические измерения. «Феникс». М. 2010.
6. Бессонов Л.А. Теория электрических цепей. «Высшая школа». М. 2005.
7. Лисов А.А. Методологические основы проектирования систем упреждения отказов и управления безотказностью эрготехнических систем. Методы менеджмента качества// № 2, 2002.

# Использование сетевых матричных структур для конструкторско-технологической подготовки производства

## С.В. Сергеев

*аспирант кафедры «Управление инновациями» НИУ МАИ, начальник СПКБ АО «НПО «ЛЭМЗ»; Москва*

## А.В. Луценко

*к.т.н., доцент кафедры «Управление инновациями» НИУ МАИ, начальник ОАСУП АО «НПО «ЛЭМЗ»; Москва*

## С.А. Веретенников

*аспирант кафедры «Управление инновациями» НИУ МАИ; Москва*

Несмотря на то что максимального снижения затрат удастся достичь в процессе массового

или серийного производства, процесс разработки и внедрения нового изделия в производство в машиностроении имеет очень важное значение. Многие предприятия, выпуская из года в год одну и ту же продукцию, не проводя ее модернизацию, попадали в тяжелые финансово-экономические условия из-за быстро развивающейся конкуренции.

При большом отставании в машиностроении от зарубежных стран отечественным предприятиям приходится наверстывать объемы производства, увеличивать темпы роста и выпуска новой продукции высокого качества. Этого можно достичь путем совершенствования станочного парка, внедрением более совершенного технологического оснащения и совершенствованием конструкторско-технологической подготовки производства. Автоматизированная подготовка производства с применением персональных ЭВМ