Инженерный вестник Дона, №3 (2015)
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3088

Модель параметрической качественной иерархической оценки состояния технической системы

С.И. Клевцов, А.Б. Клевцова, С.В. Буринов

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В работе представлена модель качественной оценки состояния сложной технической системы. Процедура оценки состояния объектов и системы в целом осуществляется с помощью промежуточных шкал численной оценки, когда качественным оценкам ставятся в соответствие их количественные эквиваленты, позволяющие построить формализованный алгоритм переноса. Состояние объектов системы рассматривается через призму определения соответствия параметров объекта одной из областей их возможного состояния с учетом режимов функционирования системы. Эта данные являются переменными качественного порядка, представленными на множестве отношений эквивалентности наименований, что обуславливает качественный характер оценки.

Ключевые слова: качественная оценка состояния, система, объект, модель, шкала оценки, дискриминирующий признак, алгоритм, параметр, переменная, критичность, значимость.

Оценка состояния системы лежит в основе осуществления диспетчером функций контроля за ее работой, предотвращения и ликвидации последствий аварий [1-3]. Эта оценка строится на основе информации о состоянии параметров объектов системы, которые являются переменными качественного порядка, представленными на множестве отношений эквивалентности наименований [4-6], что обуславливает качественный ее характер. Объект в целях оценки можно рассматривать как простейшую двухуровневую иерархическую структуру, на верхнем уровне которой находится сам объект, а на нижнем характеризующие его параметры. Систему, для решения задачи оценки, также можно представить в виде аналогичной структуры из объектов.

Рассматривая структуру системы, следует отметить, что не все объекты одинаково ценны для ее эффективного и устойчивого функционирования. Работа одних объектов, установленных на ответственных участках, очень важна и их отказ приводит к немедленному отказу системы, другие менее важные, не в такой степени влияют на систему и ее состояние [2, 5, 6]. Поэтому для качественной оценки системы каждому его объекту, и, соответственно, каждому параметру объекта, с учетом иерархической структуры системы и объекта, как составной ее части, экспертом присваиваются следующие свойства: критичность, значимость, реализация.

Свойство “критичность” - дискриминирующий признак и определяет степень влияния данного параметра на успешную работу объекта. Если параметр является определяющим для объекта, то значение свойства “критичность” − критичен. В противном случае его значение − не критичен.

Свойство “значимость” определяет вес конкретного параметра среди всех остальных или, иначе, его место в ряду всех параметров объекта, расставленных по важности.

Свойство “реализация” также является дискриминирующим признаком и определяет наличие или отсутствие текущей информации о состоянии параметра. Если информация отсутствует или она недостоверна, то значение свойства “отсутствует”, если имеется, то “представлен”.

Качественная оценка состояния объекта осуществляется в следующем порядке:

1 стадия: оценка состояния параметров объекта с учетом дискриминирующего признака.

2 стадия: качественная оценка состояния объекта на текущий момент времени без учета дискриминирующего признака.

3 стадия: уточнение оценки состояния объекта.

На первой стадии сначала проводится оценка состояния параметра объекта с учетом дискриминирующего признака "реализация". При этом используются следующие данные: состояние параметра объекта; реализация параметра. Дискриминирующий характер свойства “реализация” проявляется, если его значение «отсутствует». Тогда, независимо от других свойств, состояние данного параметра можно определить как «предаварийное». Если значение свойства “реализация” – “представлен”, то оценка параметра повторяет значение его состояния.

Рассмотрим 2 стадию оценки состояния объекта.

Исходная информация для оценки: состояние каждого параметра оценки; значимость каждого параметра объекта.

Полученные качественные оценки состояния параметров объекта необходимо перенести на уровень объекта для оценки его состояния. Оценка состояния объекта является качественной. Мостиком между качественными оценками состояния параметров и качественной оценкой объекта являются правила переноса качественных оценок с одного уровня на другой.

Указанную процедуру можно осуществить с помощью промежуточных шкал численной оценки, когда качественным оценкам ставятся в соответствие их количественные эквиваленты, позволяющие построить формализованный алгоритм переноса.

Рассмотрим систему А (рис. 1).

Пусть система имеет K – объектов $\{\xi^{(k)}\}, k = 1, K$. Произвольному объекту $\xi^{(k)}$ принадлежит множество параметров $\{\xi_i^{(k)}\}, i = 1, m_k$.

Допустим, что осуществляется оценка состояния $\xi^{(k)}$ - го объекта. При этом каждый параметр $\xi_i^{(l)}$ объекта $\xi^{(l)}$, где $l = 1, k$ имеет свою качественную оценку α_j, где $j = 1, J$, а значение α_j выражается словом, определяющим состояние параметра, например, “нормальное”.

Таким образом, для каждой оценки α_j параметра $\xi_i^{(l)}$ формируется ее численный эквивалент.

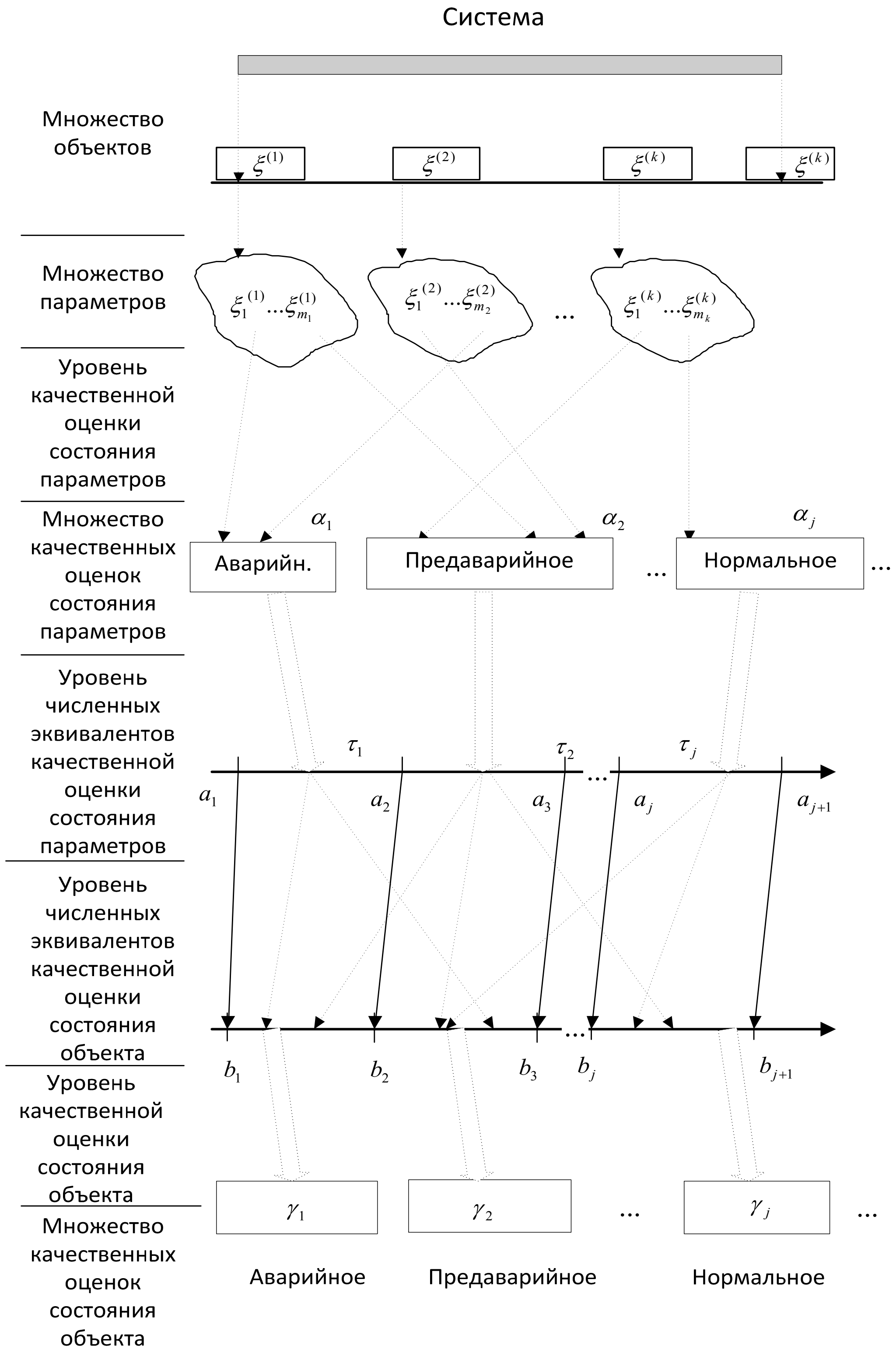

Рис. 1. – Обобщенная схема качественной оценки состояния объекта и системы в целом

В свою очередь уровень качественной оценки объекта также определяется с помощью качественных оценок γ_j, которые могут принимать такие же значения, как и α_j.

Согласование между этими двумя уровнями качественной оценки осуществляется с помощью определения двух промежуточных уровней численных эквивалентов качественных оценок и процедур преобразования и соответствия эквивалентов между собой.

Очевидно, что от выбора значений эквивалентов качественной оценки параметра и процедур согласования границ областей возможного изменения числовых эквивалентов качественных оценок параметра и объекта зависит корректность и правильность качественной оценки объекта.

Сформируем исходные данные и предпосылки для оценки состояния объекта на основе качественной оценки его параметров.

Поскольку оценку параметров можно определить характеристикой “состояние” со значениями, выраженными словами, например, “нормальное”, “предаварийное”, то введем лингвистическую переменную β, характеризуемую набором $\langle \beta, T(\beta), X \rangle$, где β – название лингвистической переменной; $T(\beta)$ – терм-множество переменной β; X – область определения (базовое множество) переменных, связанных со значениями лингвистической переменной β [7, 8, 9].

Определим нечеткие переменные, описывающие значения лингвистической переменной β, заданные терм- множеством тройкой $\rangle \alpha, X, \tilde{G}(\alpha) \langle$, где $\alpha \in T(\beta), T(\beta) = \{\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{j,\ldots}\}$; $\tilde{G}(\alpha)$ – нечеткое подмножество множества X, определяющее ограничения на возможные значения нечеткой переменной α_j : $\widetilde{G}(\alpha)=\{\langle\mu_{G(\alpha)}(x)/x\rangle\}$ $x\in X$. Здесь $\mu_{G(k)}(x)$ – функция принадлежности нечеткого множества $G(\alpha)$.

Значения α лингвистической переменной β будут определять качественные оценки параметров. Терм-множество будет выглядеть следующим образом:

T(состояние)={аварийное, предаварийное, нормальное}.

Особенность введения лингвистической и нечетких переменных в данном случае заключается в том, что исходными данными для оценки являются качественные характеристики, которые не имеют обоснованных количественных эквивалентов. Базовое множество X и базовая шкала может быть выбрана произвольно, поскольку она играет роль одного из промежуточных уровней оценки и обмена информации между уровнями качественной оценки параметра и качественной оценки объекта.

Таким образом, задача состоит не в переходе от количественных оценок к качественным, а от качественных к качественным, но на разных уровнях оценки.

В качестве базового множества X нечетких переменных $\{aj\}$ может быть выбрано множество вещественных чисел, принадлежащих произвольному отрезку числовой оси $[a_1, a_2]$.

Предлагаемый подход к построению лингвистической переменной β, делает правомерным утверждение, что в рамках данной задачи определение значения функции принадлежности $\mu G(k)(x)$ нечеткой переменной α для каждого элемента $x\in X$ не является необходимым. Более того, важна не абсолютная привязка функции $\mu G(k)(x)$ к базовой шкале $[a_1, a_2]$, а относительное расположение функций принадлежности для различных α_j с учетом требований к их виду и свойствами множеств.

В целом в данной задаче характеристики функции принадлежности $\mu G(k)(x)$ определяются особенностями процедур перехода от качественной оценки параметра к качественной оценке объекта.

Пусть существует распределение функций принадлежности на базовой шкале $[a_1, a_2]$, удовлетворяющее особенностям задачи и позволяющее осуществить оценку объекта на качественном уровне.

В соответствии с общими требованиями к функции принадлежности [8, 10, 11, 12] справедливы условия:

$$(\forall_j \in T)(\exists\ x \in X)\left(\mu_{G_j}(x) = 1\right);$$

$$\left(\forall \alpha_j, \alpha_{j+1} \in T\right)\left(\exists a_j \in X\right)\left(\mu_{G_j}(a_j) = \mu_{G_{j+1}}(a_j)\right) \qquad (1)$$

Предположим также, что a_j единственное число, удовлетворяющее условию (1).

Тогда можно выделить подмножество $Sj \in G$, для элементов которого $\alpha j \leq xs \leq \alpha j+1$. ($Gj$ – носитель нечеткого множества $\tilde{G}_j$):

$$\left(\forall \alpha_j \in T\right)\left(\exists a_{m_j} \in X\right)\left(\mu_{G_j}(a_{m_j}) = 1\right) \qquad .$$

Значение a_{m_j} можно рассматривать как элемент множества X, которому в наибольшей степени соответствует значение переменной α_j, т.е. a_{m_j} может рассматриваться как численный эквивалент качественной оценки α_j.

Используя особенности задачи, введем упрощение, - если терму α_j соответствует значение “нормальное”, то численным эквивалентом качественной оценки “нормальное” будем считать величину a_{m_j}.

Для определения процедур, связывающих уровни численных эквивалентов качественных оценок параметров и объекта введем лингвистическую переменную ζ, определяющую качественную оценку объекта и характеризуемую набором $\rangle \zeta, R(\zeta), Y \langle$, где ζ – название лингвистической переменной, в данном случае “состояние объекта”; $R(\zeta)$ – терм- множество лингвистической переменной; Y – базовое множество нечетких переменных, связанных с ζ.

Соответственно, определим нечеткие переменные $\rangle\gamma, Y, D(\gamma)\langle$, где $\gamma \in T(\zeta)$; $T(\zeta)=\{\gamma_1,...,\gamma_k,...,\gamma_J\}$; $\widetilde{D}(\gamma)$ – нечеткое подмножество множества Y.

$$\widetilde{D}(\gamma)=\rangle\mu_{D(\gamma)}(y)/y\langle, (y \in Y).$$

Естественно также положить, что $\gamma_j=\alpha_j$, j=1,J.

Соответственно для ζ базовое множество также можно определить через базовую шкалу, представляющую отрезок $[b_1,b_2]$ на оси Y, однако в отличии от вышеприведенного, в данном случае значения b_1 и b_2 определяются как значениями a_1 и a_2, так и процедурой связи двух уровней численных эквивалентов оценки.

Соответственно определим подмножество $Q_j \in D_j$, такое, что $(\forall y \in Q_j)$ $(\exists b_j, b_{j+1} \in Q_j)$ $(b_j \le y \le b_{j+1})$. Здесь D_j – носитель нечеткого множества $\widetilde{D}_j$, а b_{m_j} – численный эквивалент качественной оценки γ_j.

Множества *S* и *Q* являются четкими, поэтому для них

$$(\forall x, x \in S_j) \quad (\forall y, y \in Q_j) \quad (\mu s(x)=\mu q(y)=1\ ) \ \ j=1,J.$$

Однако границы отрезков $[a_j, a_{j+1}]$ и $[b_j,b_{j+1}]$, а также значения численных эквивалентов a_{m_j} и b_{m_j} для каждого момента оценки k-го могут быть различными.

При формировании взаимосогласованных уровней численных эквивалентов качественной оценки параметра и объекта воспользуемся понятием функции полезности и результатами теории выбора и принятия решений [12, 13].

Для целей оценки состояния *k* - го объекта , его можно рассматривать, как совокупность параметров, полученных на текущий момент опроса, т.е.

$$P_k=(\xi_1^{(1)},...,\xi_{m_1}^{(1)},\xi_1^{(2)},...,\xi_{m_2}^{(2)},...,\xi_1^{k},...\xi_{m_k}^{(k)}),$$

где P_k – образ объекта на k - контрольной точке.

Тогда, в соответствии с теорией аддитивной полезности, функция полезности объекта может быть выражена через функцию полезности параметров следующим образом:

$$q(P_k)=q_k=q(\xi_1^{(1)},...,\xi_{m_1}^{(1)},\xi_1^{(2)},...,\xi_{m_2}^{(2)},...,\xi_1^{k},...\xi_{m_k}^{(k)})=\sum_{i=1}^{M_k} q_i(\xi_i), \qquad (2)$$

где $M_k = \sum_{l=1}^{k} m_l$.

Для удобства и упрощения выражений далее верхний индекс при $\xi_i^{(1)}$ не будем указывать.

Выражение (2) можно представить в виде:

$$q_k = \sum_{i=1}^{M_k} u(\xi_i)v_i', \qquad (3)$$

где v_i' – вес i - го параметра среди рассматриваемых M_k параметров k – го объекта: $0 < v_i' < 1$; $\sum_i v_i' = 1$, $u(\xi_i)=u_i$ – значение (числовое) функции полезности для оценки ξ_i – параметра. Знак “ ′ ” будем использовать для нормализованных значений параметров.

Значение числового эквивалента качественной оценки конкретного ξ_i параметра можно рассматривать как числовое значение его функции полезности.

Для этого следует нормализовать базовое множество (базовую шкалу) X так, чтобы нормализованный интервал $\left[a_1', a_2'\right] \equiv [0,1]$.

Тогда, если x_i – численный эквивалент качественной оценки ξ_i параметра, т.е. $x_i \in [a_1,a_2]$, то его нормализованное значение (обозначим через s_i'): $s_i' = \dfrac{x_i}{a_2 - a_1}$, $s_i' \in [0,1]$.

Здесь $\max s_i'=1$, $\min s_i'=0$, $i=1,M_k$.

Выражение (3) можно преобразовать к виду

$$q_k = \sum_{i}^{M_k} s_i' v_i' \qquad (4)$$

и использовать для формирования численных эквивалентов качественной оценки любого k-ого объекта.

Известно, что s_i' принадлежит определенному множеству S_j в зависимости от качественной оценки параметра ξ_i принадлежности его нечеткой переменной α_j. Интервал, соответствующий множеству S_j, характеризует неопределенность численного эквивалента качественной оценки, а его величина $[a'_{j1}, a'_{j2}]$– возможное значение эквивалента и величину его изменения.

Здесь $a'_{j_1} = a'_j$, $a'_{j_2} < a'_{j+1}$ и $s_i' \in [0,1]$: $s_i' > a_{j2}$ и $x_i' < a'_{j+1}$.

Такое доопределение границ устраняет неопределенность оценки параметра в точках a_j, $j=2, J_{k-1}$.

Для качественной оценки объекта неважно, будет в выражении (4) точное значение s_i' или его приближение, поскольку должно быть реализовано одностороннее соответствие между уровнем численной оценки параметра и объекта, причем процедура соответствия и величины показателей, участвующих в расчетах должны быть подобраны так, чтобы давать более пессимистическую оценку, чем в реальности. Поэтому в данном случае можно считать все качественные оценки с точки зрения численного значения эквивалентными.

Учитывая вышесказанное, в выражении (4) вместо точных значений эквивалентов s'_i можно использовать величины τ_j, которые будут характеризовать численные эквиваленты j-х типов качественных оценок. Тогда всем $s'_i \in [a_{j1}, a_{j2}]$ ставится в соответствие единый численный эквивалент τ_j, который используется в выражении (4) для определения численного эквивалента q_k качественной оценки объекта.

Выражение (4) можно преобразовать к виду:

$$q_k = \sum_{i=1}^{m_k} \tau(s'_i) v'_i \,, \qquad (5)$$

где

$$\tau(s'_i) = \begin{cases} \tau_1, s'_i \in [a_{1_1}, a_{1_2}] \\ \tau_2, s'_i \in [a_{2_1}, a_{2_2}] \\ \dots \\ \tau_J, s'_i \in [a_{J1}, a_{J2}] \end{cases} \qquad (6)$$

Выбор конкретных значений τ_j формирует весовые соотношения между различными качественными оценками. Изменение значений τ_j в пределах установленных интервалов (6) ужесточает или ослабляет качественную оценку α_j.

Соотношение (5) является отображением множества численных эквивалентов качественных оценок параметров $\widetilde{S}$ на множество $\widetilde{Q}$ численных эквивалентов качественных оценок объекта.

В выражении (5) важную роль играет величина v'_i – нормированный вес i-го параметра, фактически отражающий степень влияния состояния i-го параметра на состояние объекта. Эту величину можно определить из соотношений значимости отдельных параметров между собой, используя методы ранжирования, стандартной игры и др. [12, 13, 14].

Рассмотрим простой вариант применения данного метода для оценки состояния этапа управляемого процесса.

Будем считать, что v_i распределены на этом интервале с шагом $\Delta\Theta_k = \frac{1}{M_k - 1}$, где M_k – количество параметров, причем их веса не повторяются.

Зная численные оценки параметров и их веса и используя для оценки этапа выражение (5), получим численный эквивалент q_k, которому необходимо сопоставить соответствующую качественную характеристику. Для этого необходимо определить правила сопоставления численных и качественных характеристик.

Очевидно, что если для всех $i \in [1, M_k]$ $s'_i \in [a_{j1}, a_{j2}]$, то $q_k = \sum_{i=1}^{M_k} s'_i v'_i$ соответствует оценке α_j , например, “нормальное”.

Тогда при указанных предположениях, существует пара оценок $[Q_{j1}, Q_{j2}]$ таких, что если $q_k \in [Q_{j_1}, Q_{j_2}]$, то можно говорить, что оценка объекта “нормальное ”.

Здесь

$$Q_{j_1} = \sum_{i=1}^{M_k} a_{j_1} v'_i \,,\; Q_{j_2} = \sum_{i=1}^{M_k} a_{j2} v'_i \qquad (7)$$

граничные точки интервала оценки.

Преобразуем выражение (7) к виду:

$$Q_{j_1} = a_{j_1} \Delta\Theta'_k \frac{M_k (M_k + 1)}{2}, \qquad (8)$$

где

$$\Delta\Theta_k' = \frac{\Delta\Theta_k}{\sum\limits_{i=1}^{M_k} \Delta\Theta_k i} \qquad (9)$$

– нормированное значение приращения.

Считается, что минимальное значение $v_i' = \Delta\Theta_{ђ}$.

Приведем выражение (9) к виду:

$$\Delta\Theta_k' = \frac{2}{k(k+1)} \qquad (10)$$

Тогда, подставив выражение (10) в (8) получим:

$$Q_{j_1} = a_{j_1} \frac{2}{M_k(M_k+1)} \frac{M_k(M_k+1)}{2} = a_{j_1} \qquad (11)$$

Аналогично для $Q_{j_2} = a_{j_2}$.

Подобные соотношения справедливы и для других интервалов численных эквивалентов качественных оценок α_j.

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод, что существует однозначное соответствие между интервалом для оценки параметра и интервалом для оценки объекта.

Таким образом, от качественной оценки результатов объекта, зафиксированных в системе, мы переходим к качественной оценке самого объекта с помощью двух взаимосбалансированных уровней численных оценок. Первый уровень, или первая оценка, определяет численный эквивалент каждой качественной оценке параметра, второй уровень формируется на базе первого уровня и представляет собой множество непересекающихся числовых интервалов, неразрывно заполняющих участок числовой оси. Каждый из этих интервалов формирует качественную оценку объекта. Переход от первого уровня численной оценки (уровень результатов) на второй уровень численной оценки (уровень объекта) осуществляется с использованием численных эквивалентов качественной оценки параметров и значимости, определенной как место параметра в перечне всех параметров, расставленных в порядке их приоритета для состояния объекта.

Как следует из представленной схемы, качественная оценка объекта зависит от значений числовых эквивалентов качественных оценок параметров (т.е. какое конкретное число из допустимого диапазона значений будет связано с конкретной оценкой). Поскольку базовые качественные оценки параметров опирается на экспертную оценку с использованием базы знаний, то конечные качественные оценки объекта должны быть согласованы с ними, поэтому закономерен путь установки числовых эквивалентов, заключающийся в адаптации оценки к системе.

На 3 стадии оценки производится уточнение качественной оценки объекта с учетом дискриминирующего признака "критичность".

На этой стадии используются свойства параметра:

состояние параметра объекта;

критичность параметра для состояния объекта, и свойство объекта;

состояние объекта, определенное на 2 стадии оценки.

Схема соответствующей оценки приведена на рис. 2.

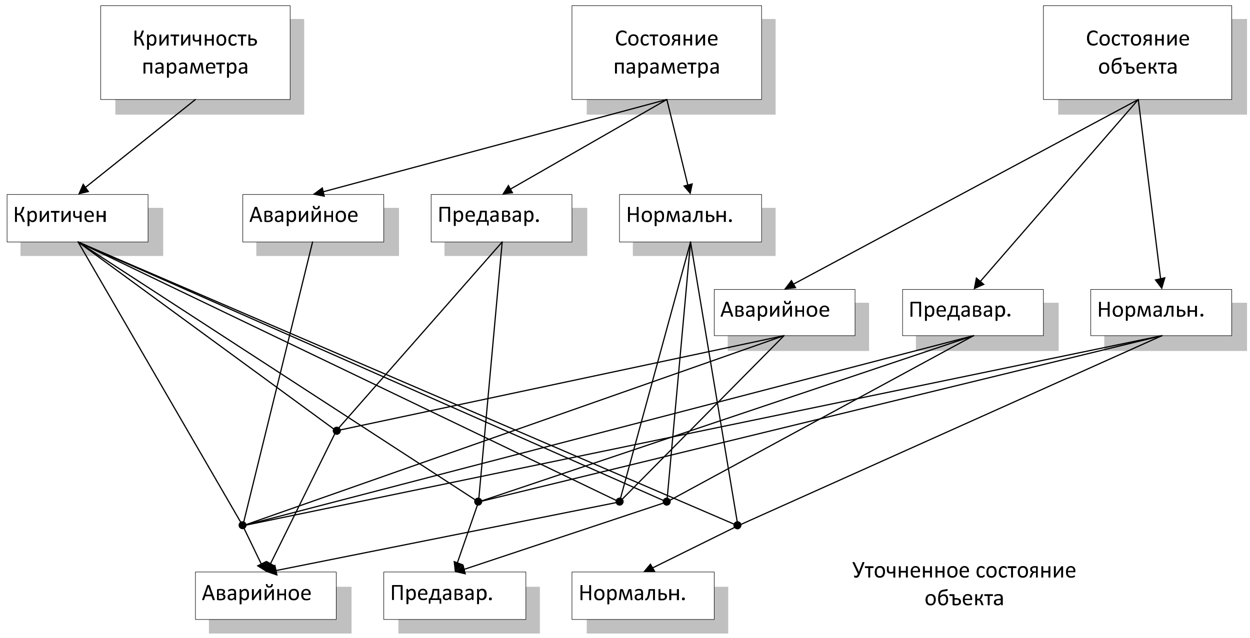

Рис. 2. - Схема уточнения оценки состояния объекта с учетом дискриминирующего признака

На данной стадии принимаются во внимание и участвуют в оценке все параметры объекта. Дискриминирующий характер свойства «критичность» проявляется в данном случае, если его значение «критичен», а значение свойства «состояние» - «аварийное» или «предаварийное». При выполнении этого условия состояние объекта в целом оценивается как «аварийное» или «предаварийное» соответственно.

Полученные таким образом оценки состояния объектов являются исходной информацией для оценки состояния системы и любых ее частей.

Методика оценки состояния системы - аналогична описанной для объекта.

Таким образом, представленный формализованный алгоритм позволяет осуществить реалистичную, понятную и эффективную интегральную параметрическую качественную оценку как текущего, так и прогнозного состояния технической системы

Литература

1. Евтихиев Н.Н., Карп В.П., Пудова Н.В. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений и оптимизации управления в сложно организованных динамических объектах. // Приборы и системы управления. 1996, № 3. С.35-40.

2. Detlev W. Gross “Partial Discharge Measurement and Monitoring on Rotating Machines” // IEEE Int. Sym. On Elect. Insul, Boston MAUSA, April 7-10, 2002. – P. 33-41

3. Золин С., Махов В., Корниенко Н., Кошта А. Мониторинг газовых регуляторных пунктов. // СТА. - 1997, № 4. - с.28-30.

4. Лучкин Н.А., Янишевская А.Г. Математическая модель автоматизированной системы мониторинга технологических процессов газоперекачивающих агрегатов //Инженерный вестник Дона, 2015, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2898.

5. Ярошенко И.В. Математическая модель и метод классификации технического состояния высоковольтных мехатронных модулей//Инженерный вестник Дона, 2014, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2330.

6. Овсянников, В.Е. Васильев, В.И. Инженерно-психологическая оценка технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта на этапе проектирования // Инженерный вестник Дона. – 2014. № 1. − Режим доступа: http://www.ivdon.ru/magazine/archive/ n1y2014/2285

7. Борисов А.Н., Левченко А.С. Методы интерактивной оценки решений. - Рига: Зинатне, 1982. - 138с.

8. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, Гл. ред. физ. - мат. лит., 1990. 272с.

9. Vovk, S.P., Ginis, L.A. Modelling and forecasting of transitions between levels of hierarchies in Difficult formalized systems // European Researcher. − 2012. − Vol. (20), №5-1, − pp. 541 – 545.

10. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. 208 с.

11. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184с.

12. Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. М.: Энергоатомиздат. 1991. 136 с.

13. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Крумберг О.А. и др. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. Рига, Зинатне. 1982. 256с.

14. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.272с.

References

1. Evtikhiev N.N., Karp V.P., Pudova N.V. Pribory i sistemy upravleniya. 1996, № 3. pp. 35-40.

2. Detlev W. Gross “Partial Discharge Measurement and Monitoring on Rotating Machines”. IEEE Int. Sym. On Elect. Insul, Boston MAUSA, April 7-10, 2002. pp. 33-41.

3. Zolin S., Makhov V., Kornienko N., Koshta A. STA. 1997, № 4. pp.28-30.

4. Luchkin N.A., Yanishevskaya A.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2898.

5. Yaroshenko I.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2330.

6. Ovsyannikov, V.E. Vasil'ev, V.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2014. №1.URL: ivdon.ru/magazine/archive/ n1y2014/2285

7. Borisov A.N., Levchenko A.S. Metody interaktivnoy otsenki resheniy [Methods for evaluation of interactive solutions]. Riga: Zinatne, 1982. 138 p.

8. Melikhov A.N., Bershteyn L.S., Korovin S.Ya. Situatsionnye sovetuyushchie sistemy s nechetkoy logikoy [Situational advising system with fuzzy logic]. M.: Nauka, Gl. red. fiz. - mat. lit., 1990. 272 p.

9. Vovk, S.P., Ginis, L.A. Modelling and forecasting of transitions between levels of hierarchies in Difficult formalized systems. European Researcher. 2012. Vol. (20), №5-1, pp. 541 – 545.

10. Orlovskiy S.A. Problemy prinyatiya resheniy pri nechetkoy iskhodnoy informatsii [Decision making in the fuzzy initial information]. M.: Nauka, Gl. red. fiz.-mat. lit., 1981. 208 p.

11. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Prinyatie resheniy na osnove nechetkikh modeley: Primery ispol’zovaniya [Decision-making based on fuzzy models: Examples of use]. Riga: Zinatne, 1990. 184 p.

12. Malyshev N.G., Bershteyn L.S., Bozhenyuk A.V. Nechetkie modeli dlya ekspertnykh sistem v SAPR [Fuzzy models for expert systems in CAD]. M.: Energoatomizdat. 1991. 136 p.

13. Borisov A.N., Alekseev A.V., Krumberg O.A. i dr. Modeli prinyatiya resheniy na osnove lingvisticheskoy peremennoy [Models of decision-making based on linguistic variable]. Riga, Zinatne. 1982. 256 p.

14. Melikhov A.N., Bershteyn L.S., Korovin S.Ya. Situatsionnye sovetuyushchie sistemy s nechetkoy logikoy [Situational advising system with fuzzy logic]. M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1990.272 p.