ОЦЕНКА ВОЗРАСТА КОНСТРУКЦИОННЫХ СИСТЕМ

Гермашев И.В., д-р техн. наук, проф.
Волгоградский государственный социально-педагогический университет
Силина А.Ю., канд. техн. наук
ООО «Системы управления производственными рисками»

Оценка состояния конструкционных систем (КС) в условиях антропогенной и природной нагрузки является неоднозначной и сложно формализуемой задачей. Здесь можно выделить несколько аспектов.

1. Неясно, что оценивать. Обычное решение – это выбор довольно узких критериев, которые позволяют оценить лишь отдельные свойства КС.

2. Методы и методики измерений, получения показателей связаны с особенностями решаемых задач, и зачастую являются несравнимыми.

3. Результаты измерений часто носят довольно разнородный характер и обобщение такого информационного массива является нетривиальной математической задачей.

Многие из перечисленных проблем удается решить с помощью аппарата нечеткой математики, успешно применяемого нами для решения схожих задач оценки и классификации в других научных областях [1,2].

Получение оценки возраста КС является одним из способов оценки состояния системы, выявления тенденций, идентификации структурных изменений.

Проведем формальную постановку задачи. Пусть для некоторой КС определено m показателей Q_1, …, Q_m, по которым необходимо вычислить оценку его возраста. Для завершения процедуры формализации нам необходимо определиться с тем, что мы будем понимать под возрастом КС с математической точки зрения, т.е. построить математическую модель, и в зависимости от этого определиться с параметрическим пространством и формальным представлением исходных данных.

Вычисление возраста связано с оценкой целого комплекса критериев, в котором динамически меняются значения, но такие оценки некорректно сравнивать между собой, поскольку они получены на основе разных видов данных.

Поэтому необходима предварительная обработка исходных данных, которая позволит свести на нет данную проблему. Для этого

предлагается перейти от абсолютных величин к относительным. Кроме того, параметризация информационной модели позволит управлять формализацией исходных данных и тем самым корректировать погрешность модели при ее апробации.

Основная идея состоит в том, чтобы нормировать параметрическое пространство так, чтобы все значения оказались в единичном кубе, т.е.

$$A: Q_1 \times \ldots \times Q_m \to E^m,$$

где A – оператор нормирования, j = 1, …, m, E = [0; 1].

При определении оператора A надо также иметь ввидуспецифику решаемой задачи. Точка на отрезке E показывает как соотносится абсолютное значение с типичными возрастными значениями, причем, чем ближе значение к 1, тем старше система.

Здесь возникает еще одна проблема: далеко не для всех параметров их значения подчиняются монотонно возрастающей зависимости от возраста системы. На данном этапе исследования параметры со сложными зависимостями не рассматривались. Но когда такая зависимость является монотонной или унимодальной функцией, то путем несложных преобразований удалось нормировать данные так, чтобы эта функция стала монотонно возрастающей. Рассмотрим разрешение этих двух ситуаций.

1. Зависимость значений параметра Q от возраста системы является монотонно убывающей функцией.

В этом случае применяется несложное преобразование

$$f: Q \to Q', \qquad (1)$$

где $f(x) = q^* - x$, $q^* = \sup Q$,

в результате которого зависимость значения Q' от возраста системы становится монотонно возрастающей.

2. Зависимость значений Q от возраста системы является унимодальной функцией.

Тогда для некоторых пар разных значений возраста системы получим одно и то же значение Q.

Для зависимости с экстремумом в виде максимума применим следующее преобразование:

$$f(x) = \begin{cases} x, x \le a^*, \\ 2q^* - x, x > a^*, \end{cases}$$

где a* – возраст, при котором достигается $q^* = \sup Q$. Но как раз решением задачи и является возраст системы, поэтому на данном этапе значение a* неизвестно. Данную проблему можно преодолеть, если

использовать данные предшествующих измерений параметра Q: если значение возросло, то $x \le a^*$, если значение уменьшилось, то $x > a^*$.

Аналогично поступаем и в случае, когда точкой экстремума является не максимум, а минимум.

Очевидно, что и в этом случае после преобразования (1) получим, что значения Q' монотонно возрастают в зависимости от возраста системы.

Проделав подобные действия для каждого параметра Q_j, j = 1, 2, …m, тем самым получим параметрическое пространство, в котором каждый из параметров находится в монотонно возрастающей зависимости от возраста системы.

Далее из эмпирических данных и мнений экспертов определяются области значений Q'_j типичных для каждого из возрастов КС:

Q'_{yj} – молодой,

Q'_{mj} – зрелый,

Q'_{gj} – стареющий,

Q'_{oj} – старый,

таким образом, что $Q'_j = \bigcup_{u\in\{y,m,g,o\}} Q'_{uj}$.

Вычисляя по формуле

$$d_{uj} = \frac{\left|Q'_{uj}\right|}{\sum_{i\in\{y,\,m,\,g,\,o\}} \left|Q'_{ij}\right|}, \quad u\in \{y, m, g, o\},$$

получим разбиение отрезка E = [0; 1]:

$E = [0; d_{yj}]\cup(d_{yj}; d_{yj} + d_{mj}]\cup(d_{yj} + d_{mj}; d_{yj} + d_{mj} + d_{gj}]\cup(d_{yj} + d_{mj} + d_{gj}; 1]$,—

на области значений, соответствующих возрастам молодой, зрелый, стареющий и старый соответственно.

Тем самым завершено нормирование параметрического пространства и описание оператора A. Вычисление значений параметров для конкретных КС в этом нормированном пространстве будет приведено далее.

Решение данной задачи предлагается осуществлять на основе интервальной шкалы возраста КС, исчисляемого в нечетких числах (рис. 1), которые обозначаются через I_A– нечеткий индекс возраста КС, где I_A: [0; 1] → [0; 1]. На шкале заданы значения I_A: a_y– нечеткое число,

соответствующее молодому возрасту, a_m– зрелому, a_g – стареющему, a_o– старому, a_c– конкретному оцениваемой КС. Такой подход позволяет, во-первых, идентифицировать возраст КС, а во-вторых, получить числовую оценку, которая позволит однозначно определить, какая КС является старше, а какая – младше.

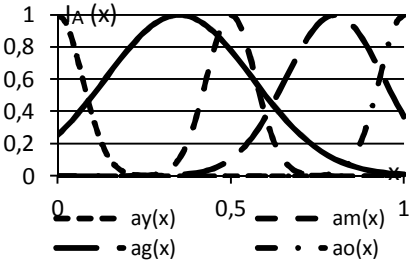

Рисунок 1 – Пример нечетких значений индекса I_A для некоторой абстрактной КС

Чтобы найти значения $a_u(x)$, где $u \in \{y, m, g, o, c\}$, необходимо определить области значений Q_j, типичных для каждого из возрастов КС: Q_{yj}, Q_{mj}, Q_{gj}, Q_{oj}, Q_{cj}, – молодого, зрелого, стареющего, старого и оцениваемого соответственно и провести их нормирование так, как описано выше, $j = 1, \ldots, m$. Далее критерии Q_{uj} переводятся в нечеткие числа q_{uj} на универсуме [0; 1], аналогично тому, как это описано, например, в [1]:

$$q_{uj}(x) = e^{-\frac{(x-c_{uj})^2}{\sigma_{uj}^2}},$$

$$x \in [0; 1],\ u \in \{y, m, g, o, c\},$$

$$\sigma_{uj} = \frac{d_{uj}}{2\sqrt{\ln 2}},\ u \in \{y, m, g, o\},$$

$$c_{yj} = \frac{d_{yj}}{2},\quad c_{mj} = \frac{2d_{yj} + d_{mj}}{2},$$

$$c_{gj} = \frac{2d_{yj} + 2d_{mj} + d_{gj}}{2},$$

$$c_{oj} = \frac{2d_{yj} + 2d_{mj} + 2d_{gj} + d_{oj}}{2},$$

$$\sigma_{cj} = \frac{d_{c2j} - d_{c1j}}{2\sqrt{\ln 2}}, \quad c_{cj} = \frac{d_{c2j} + d_{c1j}}{2},$$

$$d_{c1j} = \frac{\left|Q'_{0cj}\right|}{\left|Q'_{j}\right|}, \quad d_{c2j} = \frac{\left|Q'_{0cj}\right| + \left|Q'_{cj}\right|}{\left|Q'_{j}\right|},$$

где Q'_{0cj}– область значений параметра меньших чем в Q'_{cj}, т. е. $\forall x' \in Q'_{0cj}$, $x'' \in Q'_{cj}$: $x' < x''$. Следует также отметить, что для нормирования Q_{0cj} и Q_{cj} использованы те же процедуры, что и для Q_j, изложенные выше, в результате чего получены Q'_{0cj} и Q'_{cj}.

Приведенные формулы нормируют функции принадлежности таким образом, чтобы $q_{uj}(x) \geq 0.5$ для всех значений x, соответствующих значениям Q_{uj}.

Вычисления по представленным выше формулам приводят к получению матрицы значений a_{uj}, $u \in \{y, m, g, o, c\}$, $j = 1, 2, \ldots, m$, которые показывают возраст по j-тому параметру, т. е. возраст для системы u отражает нечеткий вектор $\bar{a}_u(a_{u1}, \ldots, a_{um})$.

Для свертки вектора $\bar{a}_u$ в нечеткое число a_u используем известный принцип взвешенного голосования

$$a_u = \sum_{j=1}^{m} \alpha_j q_{uj},$$

где $u \in \{y, m, g, o, c\}$, $\alpha_j \in R$ — уровень значимости j-того параметра оценки водоема, $\sum_{j=1}^{m} \alpha_j = 1$.

Список литературы:

1. Гермашев И.В., Дербишер В.Е., Дербишер Е.В. Принятие решений о выборе ингредиентов полимерных композиций в условиях нечёткой информации // Пластические массы. 2007. №7. С. 24-27.
2. Гудков В.А., Гермашев И.В., Бочкарева М.М., Дербишер В.Е. Определение показателей качества пассажирских перевозок в условиях неопределенности // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Сб. докл. VIII Российской науч.-практич. конф., 29-30 ноября 2007 г. / Оренбург. гос. ун-т, 2007. С. 107-115.