© Г.Н. Лебедев, Ле Суан Хау, 2006

УДК 65.011.56

Г.Н. Лебедев, Ле Суан Хау

ОТОБРАЖЕНИЕ ПРИОРИТЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ЭКРАНЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Семинар № 13

При проведении прочностных испытаний таких сложных конструкций, как самолеты, наряду с организацией поля нагружения и установкой тензометрических датчиков, измеряющих напряженность состояния изделия, существует проблема выбора части информации о ходе испытаний, которая в первую очередь нужна оператору.

Принятой в практике процедурой предъявления человеку - оператору результатов на экране системы отображения в процессе испытаний, необходим показ на дисплее одной из нескольких страниц, состоящих из заданного числа строк.

Оператор за заданное время может просматривать одну страницу и выявлять, если они есть, существенные изменения параметров, а затем переходить к просмотру другой страницы.

Однако при последовательном переборе страниц может возникнуть ситуация, когда в некоторых строках непоказанных и хранящихся в памяти ЭВМ страниц появятся новые сообщения о возникновении опасных на-рушений прочности конструкции, что приведет к аварии. Поэтому, с целью улучшения характеристик системы отображения информации на экран целесообразно определить процедуру оптимального предъявления страниц с помощью назначения динамических приоритетов.

Рассмотрим решение задачи отображения информация при следующих условиях:

- Объектом прочностных испытаний является сложная техническая система, состоящая из заданного количества n конструктивных узлов.

- Каждый из её узлов контролируется тензодатчиками, число которых равно N .

В статических прочностных испытаниях входными воздействиями являются силы нагружения $P = [P_1, ..., P_r]$, имитирующие нагрузку для различных режимов полета - взлета, посадки, маневров и.т.д. Выходными сигналами являются показания тензометрических датчиков в измерительной системе К-732 (рис. 1), выделенных жирными точками.

Если конструкция обладает достаточной прочностью, то она находится в зоне упругих деформаций, согласно закону Гука на любом шаге нагружения. В противном случае, отклонение от зоны деформаций приводит к нарушению закона. Как правило, эти нарушения бывают в отдельном месте конструкции, а установленные в этом месте тензометрические датчики фиксируют отказ в прочности.

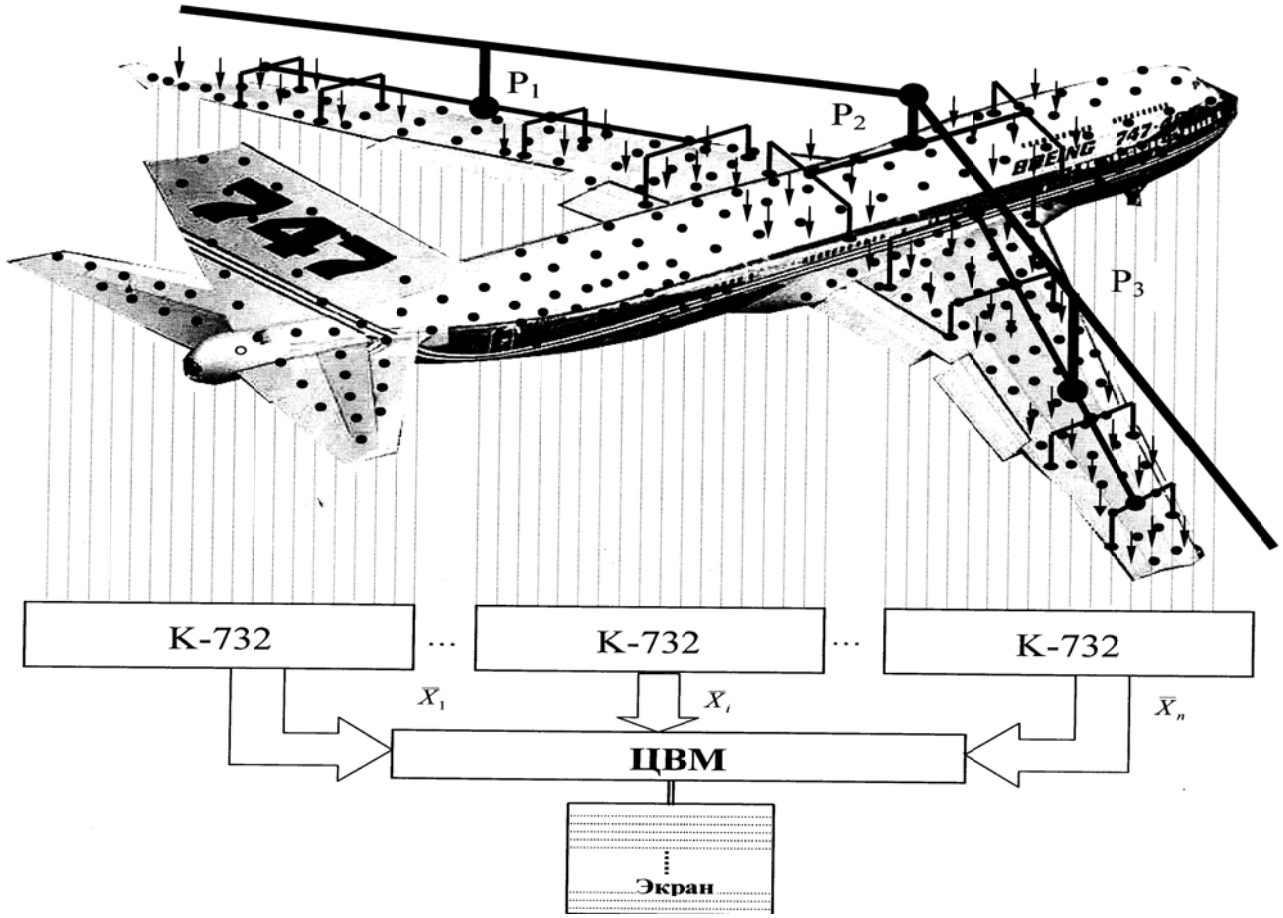

Рис. 1. Схема проведения статических прочных испытаний

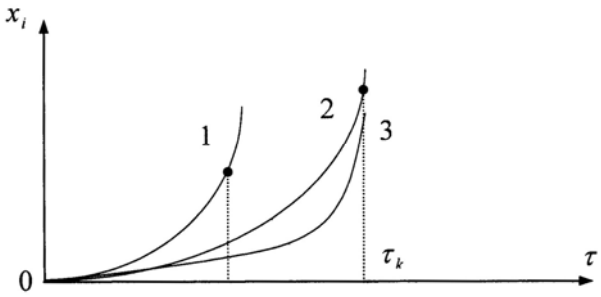

Рис. 2. Процессы нарастания числа отказов конструкции при увеличении нагружения

В основе математической модели нарастания числа отказов x_j при испытании отдельного j - того узла конструкции динамику развития нарушения прочности можно описать с помощью дифференциального уравнения:

$$\frac{dx_j}{d\tau} = a_j + b_j x_j \qquad (1)$$

Здесь τ - текущее время испытаний при последовательном увеличении нагрузки, a_j - коэффициент, характеризующий степень прочности; b_j - коэффициент, определяющий скорость развития нарушения.

Характеристики нарастания числа отказов представлены на рис. 2, из которого видно, что некоторые элементы конструкции могут выйти из строя раньше (кривая 1), а другие позже (кривая $2, a_2 < a_1$), причем скорость развития нарушения может быть неодинакова (кривая $3, b_3 > b_2$).

При сформулированных условиях требуется свести к минимуму время предъявления отказных показаний тензодатчиков, в первую очередь в наиболее опасных местах конструкции.

В качестве критерия оптимальности режима отображения можно взять условие минимума общего по всем страницам количества сообщений, “потерянных” вследствие задержек в их предъявлении оператору за время испытаний τ_k

$$J = \min\left\{\int_0^{\tau_k} f_0(X_n, t_n, \tau)d\tau\right\}$$

$$f_0 = \sum_{i \neq j}^{n} x_i(\tau)\dot{t}_i(\tau)d\tau \qquad (2)$$

где j - номер выведенной на экран в момент τ страницы, t_i - время задержки в предъявлении i -той страницы на экран. Формула (2) соответствует условию минимума общего времени задержки в предъявлении отказанных сообщений на экране. При выбранном критерии необходимо найти процедуру приоритетного отображения страниц на экран.

Поставленная задача оптимального назначения динамических приоритетов в предъявлении информации может быть решена на базе динамического программирования. Для этого используем в нашем случае уравнение Беллмана:

$$-\frac{\partial\varepsilon}{\partial\tau} = \min_j\left\{\sum_{i=1}^{n} D_i t_i x_i + \sum_{i\neq j}^{n}\frac{\partial\varepsilon}{\partial x_i}\dot{x}_i + \frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j}\dot{x}_j + \right.$$

$$\left. + \sum_{i\neq j}^{n}\frac{\partial\varepsilon}{\partial\tau_i}\dot{t}_i + \frac{\partial\varepsilon}{\partial\tau_j}\dot{t}_j\right\} = \min_j F_j(X_n, t_n) \qquad (3)$$

Определим теперь вид выражений $\dot{x}_i$ и $\dot{t}_i$, с учетом разницы в скорости изменения фазовых координат предъявленной j -й страницы и не предъявленных в данный момент i - х страниц. Можно записать

$$\dot{x}_i = \begin{cases} a_i + b_i x_i \\ 0 \end{cases} \qquad (4)$$

Выражение (4) показывает, что если j - я страница не попала на экран, т.е. $i \neq j$, то количество непредъявленных сообщений растет пропорционально заданной скорости $(a_i + b_i x_i)$, а если она выведена на экран за время $\Delta\tau$, то скорость непредъявленных сообщений $\dot{x}_j$ становится равной нулю, так как в следующий раз поврежденные однажды элементы конструкции ими же и останутся. Аналогичным образом можно объяснить смысл выражения для скорости изменения времени задержки t_i

$$\dot{t}_i = \begin{cases} 1 \\ -\dfrac{t_j}{\Delta\tau} \end{cases} \qquad (5)$$

Для получения приближенного аналитического решения возможно применение подхода, основанного на представлении функции Беллмана ε в виде степенного ряда, в частности, степенного полинома второго порядка, что позволяет применительно к задачам управления и контроля получить решение в квадратурах:

$$\varepsilon \cong \alpha + \sum_{i=1}^{n}\left(\beta_{1i} x_i + \gamma_{1i}\frac{x^2{}_i}{2}\right) +$$

$$+\sum_{i=1}^{n}\left(\beta_{2i} t_i + \gamma_{2i}\frac{t^2{}_i}{2}\right) + \sum_{i=1}^{n}\psi_i x_i t_i + \ldots$$

Приоритет страницы должен быть представлен следующим образом:

$$\Pi_j = \max\left\{\psi_j\left(b_j + \frac{1}{\Delta t}\right)x_j t_j + (\psi_{1j} a_j + \beta_{1j} b_j)x_j + \right.$$

$$+\left(a_j\psi_j + \psi_{2j} + \frac{\beta_{2j}}{\Delta t}\right)t_j + \qquad (6)$$

$$\left. +\gamma_{1j} b_j x_j^2 + \frac{\gamma_{2j}}{\Delta t} t_j^2 + (\beta_{1j} a_j + \beta_{2j})\right\}$$

что соответствует потребности определения искомых коэффициентов аппроксимации β_{1j}; ψ_{1j}; γ_{1j}; β_{2j}; γ_{2j}.

Эти коэффициенты аппроксимации могут быть определены из условия равенства ординат риска, взятых в окрестности рабочей точки и соответствующих правым частям уравнения Беллмана (3) для отдельных рассмотренных ниже ситуаций.

Приближенные расчеты дают ответ

$$\gamma_{2e} = \frac{-\beta_{2e}}{3\Delta t}; \ \psi_e = \Delta t; \ \beta_{2e} = 3\Delta t^2 a_e;$$

$$\beta_{1e} = \frac{\Delta x \Delta t (n-1)(1 + b_e \Delta t)}{a_e}$$

$$\gamma_{1e} \cong -\frac{(n-1) b_e \Delta x \Delta t}{a_e (a_e + b_e \Delta x)}$$

Знание всех коэффициентов аппроксимации позволяет вернуться к формуле (6) назначения приоритетов, которую упрощенно можно представить мультипликативной сверткой трёх сомножителей:

$$\Pi_j = (x_j + 3m_j)(t_j + 2\Delta t)\frac{\Delta t}{\Delta t + T_j} = \qquad (7)$$

$$= C_j (x_j + 3m_j)(t_j + 2\Delta t)$$

где C_j - коэффициент относительной важности.

Полученный приближённый ответ, требующий экспериментального уточнения, можно объяснить следующим образом. Чем больше ожидаемая интенсивность m_j нарушения узла конструкции по контролируемой его площади, и чем выше скорость развития трещины (чем меньше постоянная времени $T_j = \dfrac{1}{b_j}$), тем выше приоритет опасности и необходимости наблюдения этого места, наряду с важностью текущего числа x_j новых изменений и времени задержки t_j их непоказа.

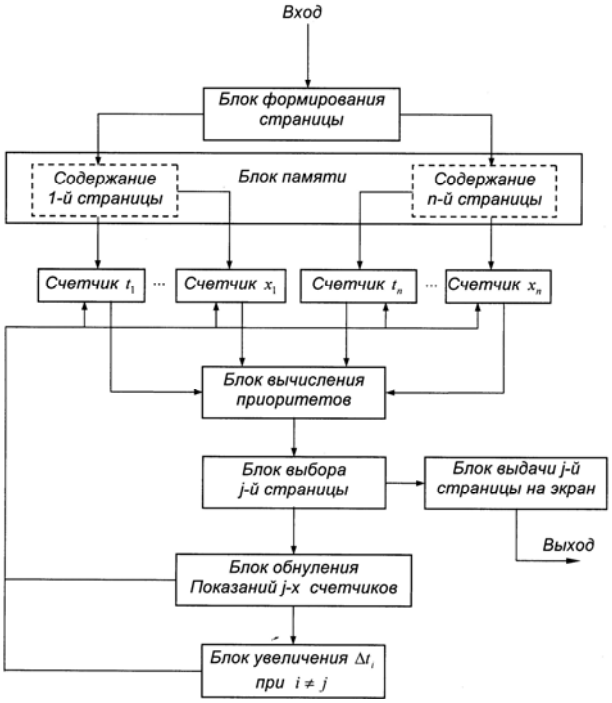

Рис. 3. Блок-схема приоритетного предъявления страниц на экран системы отображения информации

Реализация режима приоритетного предъявления страницу на экране возможна с помощью схемы управления наблюдением за испытаниями, показанной на рис. 3.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- Найдена зависимость динамических приоритетов каждой страницы от её относительной важности, от числа вновь появившихся опасных изменений напряженного состояния, от времени задержки в предъявлении страницы на экран, а также - от ожидаемой степени надежности элемента конструкции, или априорной оценки запаса его прочности.
- Полученную зависимость можно использовать для формирования примеров обучения нейронной сети, управляющей процессом отображения страниц при испытаниях. Эта же сеть может быть обучена для распознавания эпюр напряжения элементов и диагностики возникновения отказов и их предупреждения при прочностных испытаниях.

Коротко об авторах

Лебедев Г.Н., Ле Суан Хау – Московский авиационный институт (Государственный технический университет).