

**Автоматизированная система эффективного моделирования  
надежности. Теория и методы**

Е. И. Рыженко, В. Г. Сухоребрий

Моделирование надежности самолетных конструкций и соединений позволяет на ранних стадиях проектирования оценить характеристики надежности и избежать доработок конструкции на более поздних этапах проектирования, когда эти доработки обходятся достаточно дорого.

С теоретической и методической точек зрения автоматизированное моделирование надежности имеет следующие аспекты:

- создание (выбор) эффективных методов моделирования надежности;
- разработка концепции построения автоматизированной системы.

Остановимся на первом из них. В тех случаях, когда традиционные методы (метод Монте-Карло, метод линеаризации функции случайного аргумента и др.) оказываются либо слишком ресурсоемкими, либо недостаточно точными, появляется потребность в разработке методов, позволяющих снимать ресурсоемкость точных и (или) увеличивать точность простых, но малоресурсоемких методов.

Созданию таких методов посвящена настоящая работа.

Для того, чтобы повысить эффективность классических методов, необходимо учесть главную особенность решаемой задачи - надежность самолетных конструкций и соединений должна быть весьма высокой. Эту особенность назовем основной.

Пусть условия работоспособности технического объекта выражены системой неравенств (1):

$$\lambda_i(\eta) < \Lambda_i, \quad i=1, \bar{n} \quad (1)$$

Здесь  $\lambda_i$  - функция случайного вектора параметров объекта -  $\eta$ ,

$\Lambda_i$  - ограничения.

1. Надежность объекта  $P_p$  определяется как вероятность выполнения условия (1) и равна

$$P_p = P(\lambda_i(\eta) < \Lambda_i, i=1, \dots, n) = \\ = \int_{-\alpha}^{\hat{\alpha}} \dots \int f(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) d\lambda_1 d\lambda_2 \dots d\lambda_n \quad (2)$$

Трудность и ресурсоемкость вычисления этого интеграла общеизвестны.

Проблема упрощается при применении принципа несовместимости, который формулируется следующим образом: при оценке вероятности  $P_p$  события, заключающиеся в нарушении условий (1) можно считать несовместными. В этом случае

$$P_p = 1 - Q_p, \quad (3)$$

где  $Q_p = \sum_{i=1}^n Q_i$ ,  $Q_i$  - вероятность нарушения  $i$ -го условия (1).

Применение (3) вместо (2) резко сокращает ресурсоемкость вычисления вероятности  $P_p$ .

Таким образом, вычисление  $n$ -мерного интеграла заменяется вычислением  $n$  обыкновенных.

2. Учет основной особенности позволяет существенно повысить точность метода линеаризации. Суть этого учета проста. Линеаризацию левых частей предлагается проводить не для точки, соответствующей математическому ожиданию вектора  $\eta$ , а для специально подобранной точки  $\eta = \eta^*$  вблизи границы условия. Разработан алгоритм выбора вектора  $\eta^*$ .

3. Используя основную особенность, удается на несколько порядков уменьшить ресурсоемкость метода статистического моделирования, заменив его ускоренным статистическим моделированием (УСМ). Идея УСМ заключается в том, чтобы основной объем статистического материала получить моделированием линеаризованных левых частей условий (1) и лишь для хвоста распределения получить результаты для точных левых частей. Так как для высоких значений  $P_p$  потребный объем хвоста на несколько порядков ниже полного объема при моделировании, ресурсоемкость УСМ также меньше на несколько порядков при сохранении той же точности, что и для классического статистического моделирования.