

**И. В. В а с и л ь е в** (Москва, ВУНЦ ВВС ВВА). **Непараметрический метод оценки адекватности математического моделирования динамических процессов экспериментальным данным.**

Метод основан на использовании в качестве статистической модели получения информации биномиального распределения вероятности, описывающего вероятность появления  $d$  выбросов величины  $\Delta x$  за требуемые ограничения. При этом в качестве независимых испытаний рассматриваются результаты измерений фазовых координат в момент времени  $[t_1, t_2, \dots, t_n]$ , т. е. объем выборки принимается равным  $n$  независимых испытаний. Предполагается, что вероятность успешного исхода каждого испытания (сравнения результатов моделирования и экспериментальных данных в каждый момент времени) является постоянной и равной  $R$ . Под успешным исходом понимается событие, при котором отклонение расчетных данных от экспериментальных в момент времени  $t_j$  удовлетворяет требуемым ограничениям. Вероятность  $d$  выбросов величины  $\Delta x$  за требуемые ограничения будет равна

$$P(d, n, R) = \frac{n!}{d!(n-d)!} R^{n-d}(1-R)^d.$$

В качестве оценки неизвестного параметра  $R$  используется состоятельная несмещенная эффективная оценка вероятности по частоте:  $\tilde{R} = 1 - d/n$ . Дисперсия этой оценки  $D(\tilde{R}) = R(1-R)/n$  нелинейно зависит от самого оцениваемого параметра и неудобна для характеристики точности. Поэтому для определения точности оценки используется универсальная характеристика точности — доверительный интервал, определяемый в соответствии с уравнениями Клоппера–Пирсона:

$$\sum_{r=0}^d \frac{n!}{r!(n-r)!} R_{\min}^{n-r} (1-R_{\min})^r = 1 - \gamma_2,$$

$$\sum_{r=0}^{d-1} \frac{n!}{r!(n-r)!} R_{\max}^{n-r} (1-R_{\max})^r = \gamma_1,$$

где  $R_{\min}$ ,  $R_{\max}$  — соответственно нижняя и верхняя доверительные границы,  $\gamma_1 + \gamma_2 - 1 = \gamma$  — доверительные вероятности.

Односторонние интервалы получают из условия  $\gamma_1 = 1$  либо  $\gamma_2 = 1$ .

Подтверждение требований к адекватности результатов моделирования экспериментальным данным формулируется в виде решающих правил: правило принятия гипотезы об адекватности модели

$$\sum_{r=0}^d \frac{n!}{r!(n-r)!} P_{zad}^{n-r} (1 - P_{zad})^r < 1 - \gamma;$$

правило принятия гипотезы о неадекватности модели

$$\sum_{r=0}^{d-1} \frac{n!}{r!(n-r)!} P_{zad}^{n-r} (1 - P_{zad})^r > \gamma.$$