

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРОЧНОСТИ БЛА

Зосимович Н.В., Котков В.И.<sup>1</sup>

Национальный авиационный университет,  
Украина, 03680, Киев, пр-т космонавта Комарова, 1, НАУ, +38 066 1122 972,  
[nzosimovich@nau.edu.ua](mailto:nzosimovich@nau.edu.ua)

<sup>1</sup>Национальный агроэкологический университет,  
Украина, 10008, Житомир, Старый бульвар, 7, +38 050 8739 715

При обработке результатов статических испытаний летательных аппаратов (ЛА) и многих других экспериментов по прочности существует необходимость подбора аналитической зависимости  $y = f(x)$  по экспериментальным данным [1]. Как показано в [2-3], оценки параметров этой зависимости методом наименьших квадратов (МНК) оказываются смещенными, если переменная  $X$  содержит случайные погрешности того же разряда, что и  $Y$ . Поэтому целесообразно изучить статистические характеристики оценок, получаемых другими методами. Для линейной модели  $y = Ax + B$  определялись математическое ожидание и дисперсия параметра  $A$ , найденного различными способами: МНК, методом максимального правдоподобия, методом инструментальной переменной, методом центров тяжести [1]. Для этого использовался способ, основанный на разложении в ряд соответствующих функций  $y = \varphi(x, y)$  и численное моделирование. Методика и некоторые результаты таких исследований изложены в [2], а здесь мы лишь продолжили данную работу, применительно к конструкциям беспилотных ЛА.

Были получены зависимости отношения математического ожидания оценки  $\hat{A}$  к истинной величине параметра  $A$  от величины среднеквадратичного отклонения переменных  $X$  или  $Y$  (принято  $\sigma[x] = \sigma[y]$ ). Результаты представлены для случая, в котором точные значения переменной  $X$  изменялись от  $x_{\min} = -0,5$  до  $x_{\max} = +0,5$  с шагом  $\Delta x = 0,1$ , т.е. при наличии  $n = 11$  экспериментальных точек. Величина  $A$  при численном моделировании принималась равной  $A = 1$ . Прямые линии  $y = -8,7379x + 1,0016$ ,  $y = 0,0727x + 1,0010$ ,  $y = 0,2327x + 0,993$ , соответствуют формулам, полученным в [2]. Линии  $y = -6,7994x + 0,9968$ ,  $y = 0,0904x + 1,0012$ ,  $y = 0,2923x + 0,9897$ , получены численным моделированием в среде MatCad. Отсюда следует, что до значений  $\sigma[x] = \sigma[y] = 0,1$  результаты, полученные обоими способами, практически совпадают. При больших среднеквадратических отклонениях переменных проявляется различие, вызванное приближенным характером формул для  $M[\hat{A}]$ .

При численном моделировании объем выборки составлял 40, поэтому значения  $M[\hat{A}]$ , полученные таким образом, имеют в зависимости от метода среднеквадратическую погрешность 0,0048...0,034 при  $\sigma[x] = 0,2$ . С уменьшением  $\sigma[x]$  эта погрешность уменьшается приблизительно пропорционально  $\sigma[x]$ . Эти данные определяют возможность рассматривать результаты численного моделирования как эталонные. Для получения более точных значений требуется дальнейшее увеличение объема выборки.

## Литература

1. Проблемы строительной механики и прочности ЛА: Тем. сборник науч. тр. / МАИ. – М.: МАИ, 1990. – 72 с.
2. Дворников А.Г., Михеев Р.А. Анализ методов сглаживания экспериментальных зависимостей // Расчетные и экспериментальные исследования прочности, устойчивости и колебаний конструкций ЛА: Тем. сб. науч. тр. МАИ. – М.: МАИ, 1984. – С. 33-37.
3. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. – М.: Наука, 1973. – 889 с.