

УДК 629.7

А.И. ПОПОВ, С.В. ТЫНЫНА

ИТМ НАН и НКА Украины, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ПЭВМ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрен разработанный авторами программный комплекс обработки результатов полного многофакторного эксперимента, позволяющий проводить обработку данных экспериментов с числом варьируемых факторов от 2 до 6 включительно. Рассмотрена структура и принцип работы программного комплекса.

линейная модель, активный эксперимент, полный многофакторный эксперимент, процедура

Ускорение научно-технического прогресса требует повышения эффективности творческого труда ученых, инженеров-исследователей, разработчиков и эксплуатационников. В современных условиях особенно актуальна задача повышения производительности труда в экспериментальных исследованиях, так как они широко применяются на всех стадиях разработки, производства и эксплуатации различных технических объектов, в частности, объектов авиационной и ракетно-космической отрасли, средств автоматики, электронно-измерительной техники, телемеханики. При создании любого объекта основные затраты приходится на настройку, снятие характеристик и испытания и устранение недостатков изделия. При этом не редко используется малоэффективный традиционный метод однофакторного эксперимента.

Чтобы повысить производительность труда и его эффективность в данной области специалисты должны знать основы математической теории эксперимента и уметь применять и при его проведении. Такую возможность предоставляет теория активного эксперимента. Простым примером этих слов может служить процесс взвешивания нескольких, к примеру, трех объектов A, B, C [1]. Традиционно исследователь стал бы взвешивать объекты по схеме, представленной в табл. 1. Сначала он делает холостое взвешивание, определяет нулевую точку весов, затем по очереди взвешивает каждый из объектов. Это пример традиционного однофакторного эксперимента. Здесь исследователь изучает влияние каждого фактора в отдельности.

Таблица 1
Традиционная схема взвешивания

№ опыта	A	B	C	Результат взвешивания
1	-1	-1	-1	Y_0
2	+1	-1	-1	Y_1
3	-1	+1	-1	Y_2
4	-1	-1	+1	Y_3

$+1$ – объект положен на весы;

-1 – отсутствие объекта на весах.

Вес каждого объекта определяется по результатам только двух опытов: холостого взвешивания и того, где на весы положен взвешиваемый объект. Поэтому веса объектов A, B и C равны

$$A = Y_1 - Y_0; \quad B = Y_2 - Y_0; \quad C = Y_3 - Y_0, \quad (1)$$

откуда дисперсия результатов взвешивания

$$\sigma^2\{A\} = \sigma^2\{Y_1 - Y_0\} = 2\sigma^2\{Y\} = \sigma^2\{B\} = \sigma^2\{C\}, \quad (2)$$

где $\sigma^2\{Y\}$ – ошибка взвешивания.

Проведем эксперимент по иной схеме, задаваемой матрицей планирования, приведенной в табл. 2.

Таблица 2
Схема взвешивания при МФЭ

№ опыта	A	B	C	Результат взвешивания
1	-1	-1	+1	Y_1
2	+1	-1	-1	Y_2
3	-1	+1	-1	Y_3
4	+1	+1	+1	Y_4

Здесь в первых трех опытах производят последовательное взвешивание объектов A, B и C , а в последнем опыте взвешиваются все три объекта вместе – холостое взвешивание не производится:

$$A = (-y_1 + y_2 - y_3 + y_4)/2; B = (-y_1 - y_2 + y_3 + y_4)/2;$$

$$C = (+y_1 - y_2 - y_3 + y_4)/2.$$

Здесь числитель получен умножением элементов последнего столбца табл. 2 на элементы столбцов А, В, С. Видно, что при вычислении, например, веса объекта А он входит в числитель два раза, поэтому в знаменателе формулы стоит число 2. Следовательно, вес объекта А, вычисленный по этой формуле, оказывается неискаженным весами объектов В и С, так как вес каждого из них входит в формулу для веса А дважды и с разными знаками.

Найдем дисперсию, связанную с ошибкой взвешивания при новой постановке эксперимента:

$$\sigma^2\{A\} = \sigma^2\{(-y_1 + y_2 - y_3 + y_4)/2\} = \sigma^2\{y\}. \quad (3)$$

Аналогичным образом находим

$$\sigma^2\{B\} = \sigma^2\{C\} = \sigma^2\{y\}. \quad (4)$$

Видно, что при новой схеме взвешивания дисперсия получается вдвое меньше, чем при традиционном методе взвешивания, хотя в обоих случаях выполнялись по четыре опыта. При традиционном взвешивании мы должны будем все четыре опыта повторить еще раз, чтобы получить результат той же точностью, как и во втором опыте. То есть, во втором случае эксперимент был поставлен так, что каждый вес вычисляется уже по результатам всех четырех опытов, отсюда и удвоение точности, а значит экономия времени и средств. Такой вид эксперимента называется *активным* [2]. Активный эксперимент может быть одно- и многофакторным (МФЭ), при числе факторов не меньше 2.

Как видно из приведенного примера, использование методов активного эксперимента даже такой простой задачи как взвешивание хоть и требует меньшего времени для достижения желаемого результата, однако, и требует проведения более сложных расчетов, особенно когда исследуется сложное устройство или процесс.

Когда исследуется влияние нескольких факторов (≥ 2) и определяется несколько выходных параметров (функций отклика), в этом случае уже необходимо применение ПЭВМ со специально разработанными программными комплексами [3]. Примером

такого программного комплекса может служить программный комплекс «Эксперимент», разработанный авторами статьи. Выполнение расчетов с его применением значительно снижает время их обработки результатов эксперимента и избавляет от большого числа монотонных и утомительных операций.

Предлагаемая программа предназначена для математической обработки результатов полного многофакторного эксперимента с числом исследуемых (независимых) факторов в диапазоне от 2 до 6.

Структура и порядок работы программного комплекса. Программа написана в среде Pascal for Windows [4], структурно она реализована поблочно, логическая схема ее работы представлена на рис. 1.

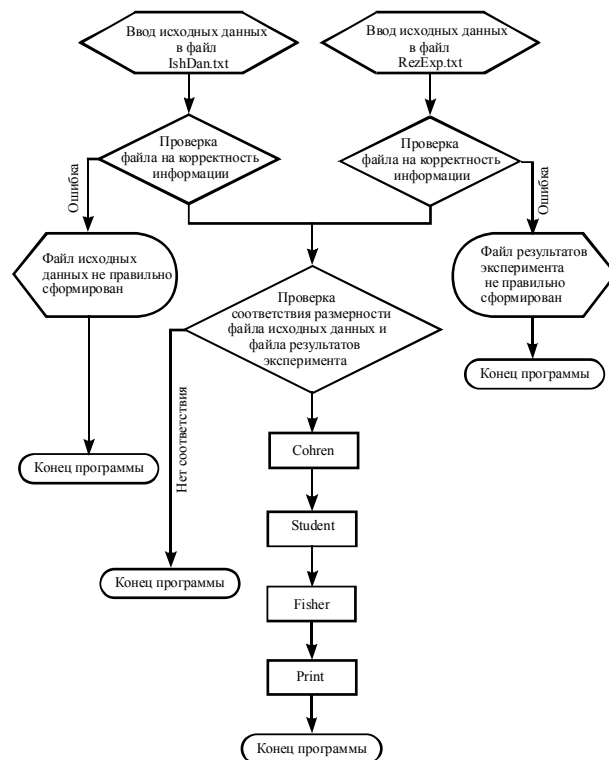


Рис. 1. Логическая схема работы программного комплекса «Эксперимент»

Конечным результатом работы программы является нахождение численных значений коэффициентов уравнения функции отклика линейной модели вида

$$y = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_kx_k \quad (5)$$

либо коэффициентов неполной квадратичной модели

$$y = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_kx_k + b_{12}x_1x_2 + \dots + b_{k-1,k}x_{k-1}x_k + b_{123}x_1x_2x_3 + \dots, \quad (6)$$

которые находятся в процессе работы программы и сохраняются отдельным текстовым файлом после ее

Адекватность модели определяется сравнением табличного – F_t и расчетного – F_{rs} значений критерия Фишера. Адекватность считается доказанной если выполняется соотношение: $F_t > F_{rs}$. Табличное значение критерия определяется по вышеуказанной таблице на пересечении строки и столбца. Номер строки равен большей дисперсии:

$$f_2 = N \cdot (m - 1). \quad (10)$$

Номер столбца равен меньшей дисперсии:

$$f_1 = N - k - 1. \quad (11)$$

Поскольку текущее значение дисперсий не равно точно указанным в столбцах и строках, то вычисление фактического табличного значения производилось методом линейной интерполяции строк и столбцов.

Fizica – процедура перевода относительных (безразмерных) коэффициентов в размерные – физические. Все вышеперечисленные операции программой прodelываются над безразмерными (кодированными) переменными. В конечном итоге получаем уравнение отклика, в котором коэффициенты представлены в безразмерном виде. Полученные коэффициенты позволяют определить степень влияния изменения того или иного фактора, а также их комбинаций на изменение функции отклика. Однако выражение исследуемых переменных в безразмерной форме не дают представления об их абсолютных (размерных) значениях. Поэтому целесообразно в функции отклика перейти к размерным (физическим) значениям параметров. При этом функция отклика из вида (5) переходит в вид:

– для линейной модели:

$$y_{lin} = b_0 + b_1 \cdot (x_1 - a_1) + b_2 \cdot (x_2 - a_2) + b_3 \cdot (x_3 - a_3) + b_4 \cdot (x_4 - a_4) + b_5 \cdot (x_5 - a_5) + b_6 \cdot (x_6 - a_6); \quad (12)$$

– для нелинейной модели:

$$y = y_{lin} + b_{12} \cdot (x_1 - a_1) \cdot (x_2 - a_2) + b_{13} \cdot (x_1 - a_1) \cdot (x_3 - a_3) + \dots + b_{234} \cdot (x_2 - a_2) \cdot (x_3 - a_3) \cdot (x_4 - a_4) + b_{235} \cdot (x_2 - a_2) \cdot (x_3 - a_3) \cdot (x_5 - a_5) + \dots + b_{356} \cdot (x_3 - a_3) \cdot (x_5 - a_5) \cdot (x_6 - a_6) + \dots \quad (13)$$

$$+ b_{456} \cdot (x_4 - a_4) \cdot (x_5 - a_5) \cdot (x_6 - a_6) + b_{1234} \cdot (x_1 - a_1) \cdot (x_2 - a_2) \cdot (x_3 - a_3) \cdot (x_4 - a_4) + \dots + b_{3456} \cdot (x_3 - a_3) \cdot (x_4 - a_4) \cdot (x_5 - a_5) \cdot (x_6 - a_6) + \dots + b_{12345} \cdot (x_1 - a_1) \cdot (x_2 - a_2) \cdot (x_3 - a_3) \cdot (x_4 - a_4) \cdot (x_5 - a_5) + \dots + b_{23456} \cdot (x_2 - a_2) \cdot (x_3 - a_3) \cdot (x_4 - a_4) \cdot (x_5 - a_5) \cdot (x_6 - a_6) + b_{123456} \cdot (x_1 - a_1) \cdot (x_2 - a_2) \cdot (x_3 - a_3) \cdot (x_4 - a_4) \cdot (x_5 - a_5) \cdot (x_6 - a_6).$$

Процедура вычисляет все коэффициенты a_i и b_i и через процедуру печати выводится в файл конечных результатов.

Для упрощения выдачи результатов приняты условия для индексов коэффициентов: порядковый номер фактора соответствует порядковому его номеру в файле исходных данных – IshDan.txt; индекс i коэффициентов a_i равен порядковому номеру того фактора, с которым он связан в скобке $(x_i - a_i)$; индекс коэффициентов b_{ijklmn} является составным и соответствует комбинациям перемножаемых скобок $(x_i - a_i) \cdot (x_j - a_j) \cdot \dots \cdot (x_n - a_n)$.

Расчеты, проведенные с применением программного комплекса, позволили более в два раза снизить время обработки результатов экспериментов и примерно во столько же повысить точность их обработки.

Литература

1. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
2. Налимов В.В., Голикова Т.И. Логические основания планирования эксперимента. – М.: Наука, 1976. – 128 с.
3. Егоров А.Е., Назаров Г.Н., Коваль А.В. Исследование устройств и схем автоматики методом планирования эксперимента. – Х.: ХГУ, 1996. – 275 с.
4. Культин Н. Программирование в Turbo Pascal 7.0 и Delphi. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2004. – 408 с.

Поступила в редакцию 24.05.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.А. Крашаница, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.