УДК 658.512.2

В.П. Алексеев, А.В. Кузнецов

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ МАССИВОВ НЕПРЕРЫВНЫХ ДАННЫХ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

При исследовании физических, технических, экономических и социальных процессов существует проблема обработки массивов, размеры которых могут превышать десятки тысяч строк. Обработка таких массивов вручную, с использованием известных пакетов прикладных программ (ППП), например MathCAD, практически невозможна, так как из этого огромного количества строк необходимо реализовать полный факторный эксперимент. Даже массив, состоящий из тысячи строк может обрабатываться вручную несколько дней. Для того, чтобы решить данную проблему нами была разработана программа статистической обработки массивов непрерывных данных методом планирования эксперимента [1, 2].

Алгоритм работы программы содержит четыре основных этапа и представлен на рисунке 1. На первом этапе отсеиваются все значения факторов не входящих в нормальный закон. Это позволяет исключить из статистического ряда грубые ошибки, за счет чего размер массива значительно сокращается. На втором этапе производится расчет коэффициентов изменения факторов [2]. На третьем этапе реализуется полный факторный эксперимент (ПФЭ), типа 2^n , где n – число факторов. На четвертом этапе получаем уравнение регрессии с проверкой адекватности по критерию Фишера и отсеиванием незначащих факторов по критерию Стьюдента.

Рассмотрим предлагаемый алгоритм более

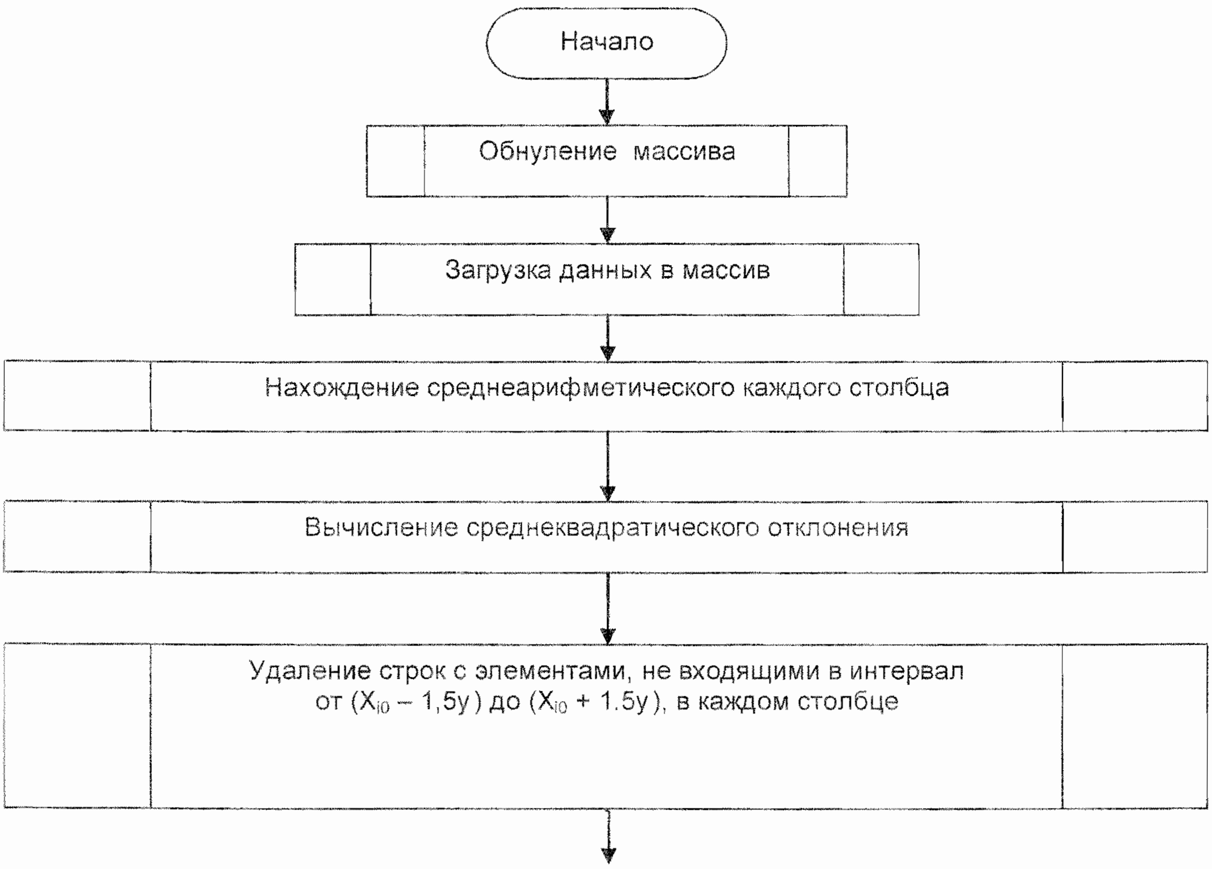

Рис. 1. Алгоритм работы программы

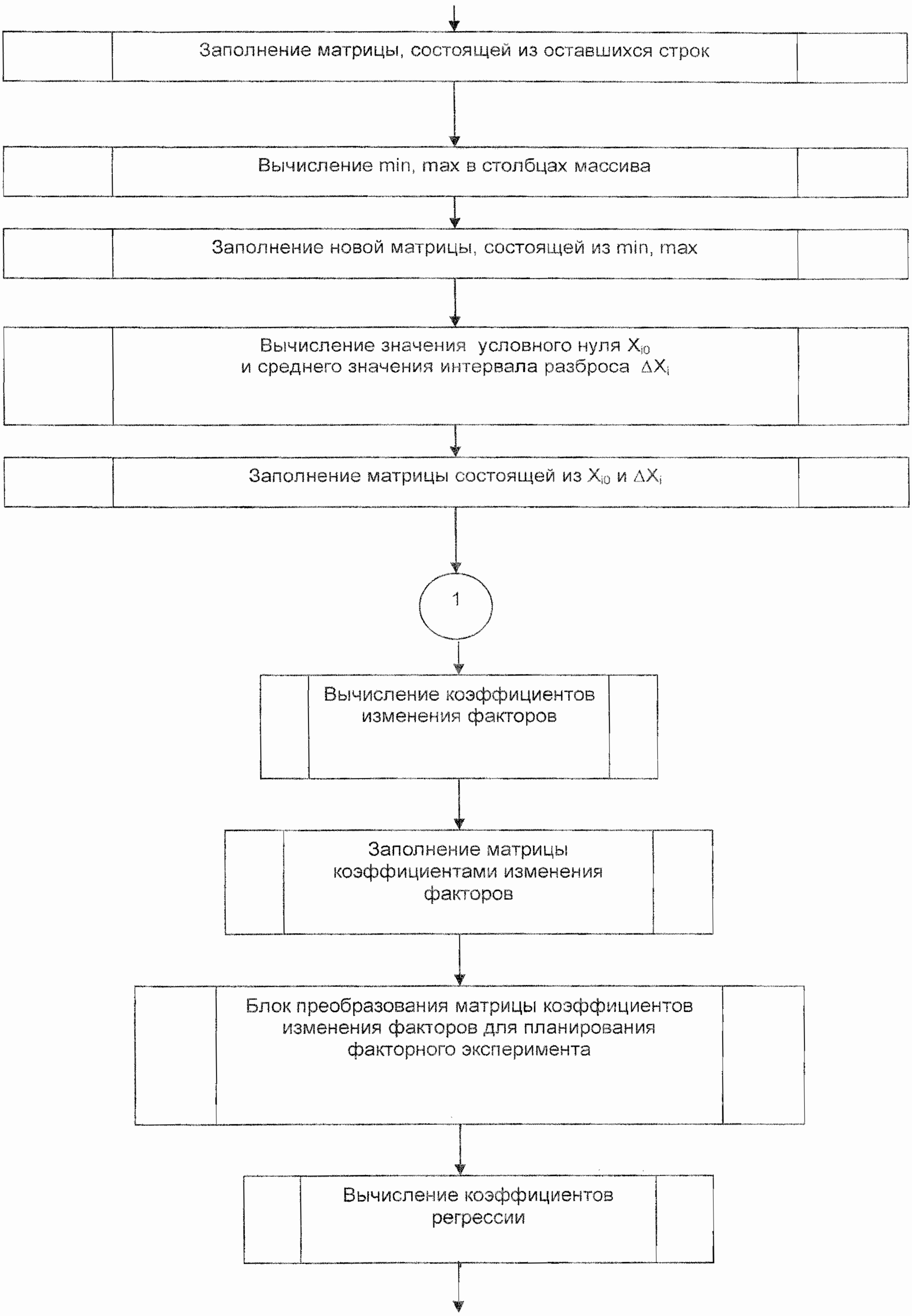

Рис. 1. Продолжение. Алгоритм работы программы

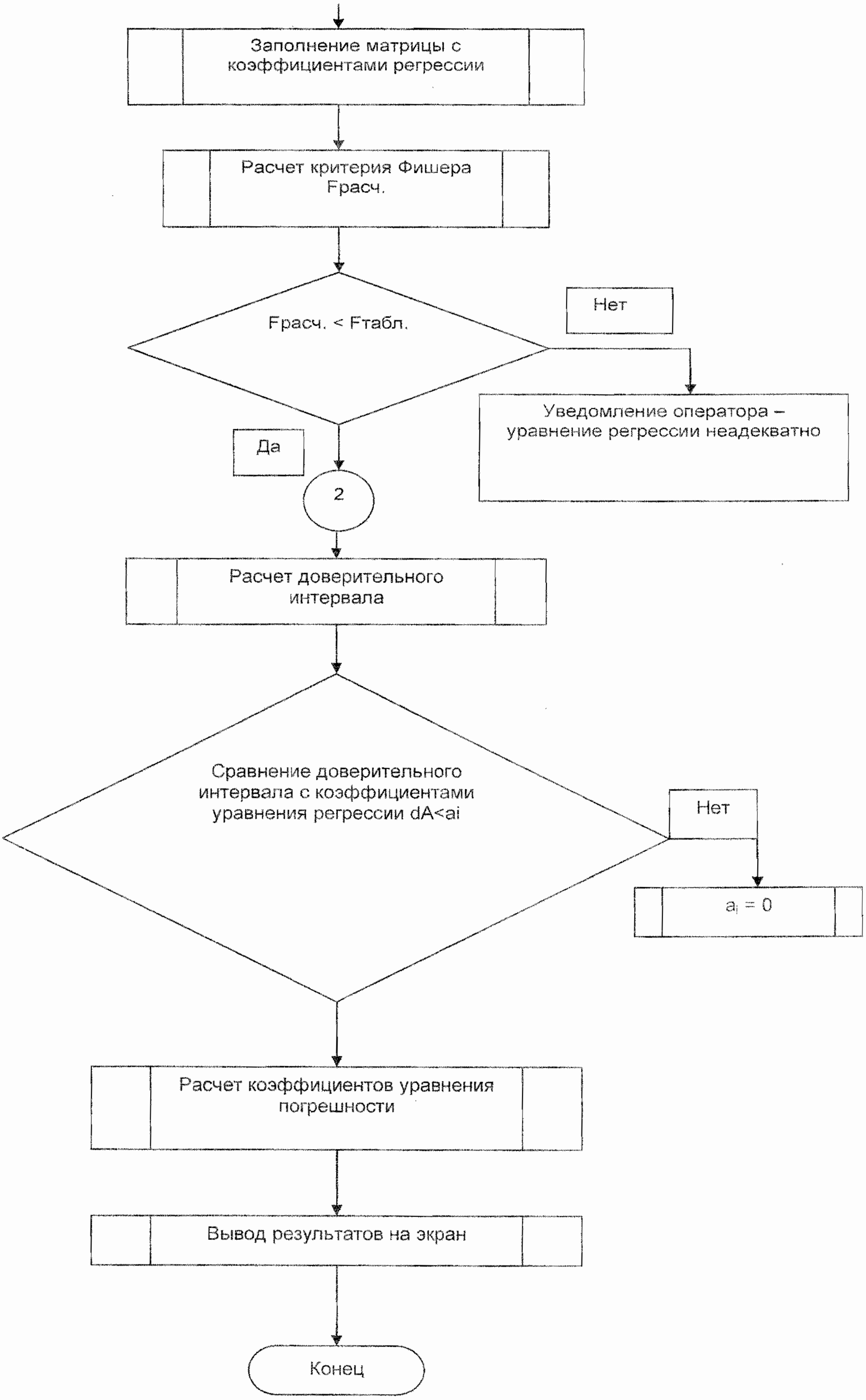

Рис. 1. Окончание. Алгоритм работы программы

1) Обнуление массива.

При загрузке программы происходит обнуление массива для возможности дальнейшего заполнения матрицы исходного массива данных.

2) Загрузка данных в массив.

Загрузка данных в массив производится либо поэлементным введением в матрицу, либо загрузкой из файла с расширением *.bak. Эту операцию осуществляет модуль сохранения и загрузки.

3) Нахождение среднеарифметического каждого столбца.

Начало

1. Находим сумму всех элементов по каждому столбцу.
2. Делим каждое полученное значение на количество строк.
3. Вычисляем квадрат разности $(Yij - \hat{Y})^2$.
4. Присваиваем полученные значения новой матрице.

Конец

4) Вычисление среднеквадратического отклонения y.

Начало

1. Вычисляем сумму по каждому столбцу.
2. Полученную сумму делим на количество строк.
3. Присваиваем полученные значения новой матрице.

Конец

5) Удаление строк с элементами не входящими в интервал от (X_{i0} - 1,5y) до (X_{i0} + 1,5y) в каждом столбце.

Начало

1. Определяем границу (X_{i0} – 1,5y) по каждому столбцу.
2. Определяем границу (X_{i0} + 1,5y) по каждому столбцу.
3. Циклически сравниваем каждое значение каждого столбца с полученным интервалом.
4. Удаляем полностью строку если элемент какого-либо столбца не входит в этот интервал
5. Количеству строк присваиваем (Количество срок – 1) – «kolstr: = kolstr-1».

Конец

6) Вычисление min, max в столбцах массива и заполнение новой матрицы, состоящей из min, max.

Начало

1. Декларируем некоторые значения MAX и MIN (бесконечно большое и бесконечно маленькое).
2. Перебираем все элементы матрицы M по столбцам.
3. Если значение элемента матрицы больше значения MAX, то присваиваем MAX значение этого элемента.
4. Если значение элемента матрицы меньше значения MIN, то присваиваем MIN значение этого элемента.
5. Заносим получившиеся значения MIN и MAX для каждого столбца в матрицу минимальных и максимальных значений.
6. Возвращаем функции значение матрицы минимальных и максимальных значений.

Конец

7) Вычисление значения условного нуля X_{i0}, среднего значения интервала разброса ΔX_i и заполнение матрицы, состоящей из X_{i0} и ΔX_i.

Начало

1. Перебираем все значения матрицы M по столбцам.
2. Получаем из матрицы M значения минимумов и максимумов.
3. Производим вычисление значений условного нуля и среднего значения интервала разброса по формулам и заносим данные значения в матрицу.
4. Возвращаем функции значение матрицы значений условного нуля и среднего значения интервала разброса.

Конец

Вычисление значений условного нуля и среднего значения интервала разброса вычисляется по следующим формулам соответственно [1]:

$$X_{i0} = \frac{X_i \max + X_i \min}{2}. \qquad (1)$$

$$\Delta X_i = \frac{X_i \max - X_i \min}{2}.$$

8) Вычисление коэффициентов изменения факторов и заполнение матрицы коэффициентами изменения факторов.

Начало

1. Перебираем все значения матрицы М по столбцам.
2. Производим вычисление коэффициентов изменения факторов по формуле, используя значения коэффициентов начальной матрицы, а также значений условного нуля и среднего значения интервала разброса. Заносим коэффициенты в матрицу.
3. Возвращаем функции значение получившейся матрицы.

Конец

Вычисление коэффициентов изменения факторов производится по формуле [2]:

$$K_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{i0}}{\Delta X_i}. \tag{2}$$

9) Блок преобразования из матрицы коэффициентов изменения факторов в матрицу планирования полного факторного эксперимента.

Данный блок является наиболее важной частью программы, так как здесь идет преобразование полученной матрицы до матрицы полного факторного эксперимента, т.е. из тысячи строк необходимо выделить такие строки, чтобы окончательная матрица обладала следующими свойствами [1]:

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 0; \qquad \sum_{j=1}^{m} x_{ij}^2 = m; \qquad \sum_{j=1}^{m} x_{iu} x_{ju} = 0. \tag{3}$$

Данный блок разделяется на 3 раздела, описания которых представлены ниже.

Первый раздел:

Начало

1. Перебираем последовательно все строки матрицы М.
2. Проверяем каждую строку на условие соответствия нулевой алгебраической Суммы положительных и отрицательных отклонений безразмерных факторов от среднего значения по столбцам.
3. Удаляем все строки, неудовлетворяющие условиям несоответствия.

Конец

Второй раздел:

Начало

1. Перебираем последовательно все строки матрицы М.
2. Считаем количество строк каждого вида.
3. Считаем количество строк не имеющие пары.
4. Если строка не имеет пары, то вызываем процедуру удаления строки.

Конец

Третий раздел

Начало

1. Проверяем, если количество строк, если больше 2^n, тогда удаляем парные строки значение коэффициентов изменения факторов по модулю которых больше. Таким образом, остается только 2^n строк, и полученная матрица удовлетворяет условиям (3).

Конец

10) Вычисление коэффициентов регрессии и заполнение матрицы с коэффициентами регрессии

Начало

1. Перебор матрицы К по строкам.
2. Вычисление коэффициентов по формулам.
3. Занесение коэффициентов в матрицу.
4. Присваиваем функции значение полученной матрицы.

Конец

Вычисление коэффициентов регрессии выполняется по формулам [1]:

$$a_0 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} y_i; \quad a_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} K_{ji} y_j. \tag{4}$$

11) Расчет критерия Фишера $F_{расч}$ и доверительного интервала.

Полученное уравнение регрессии необходимо проверить на адекватность по критерию Фишера, а коэффициенты уравнения регрессии на значимость по критерию Стьюдента. Для этого производим следующие операции:

Начало

1. Перебор матрицы по строкам.
2. Вычисление значений Fрасч и dAi с использованием значений коэффициентов из матрицы.
3. Присваивает функции значение Fрасч и dAi.

3. Проверка уравнения регрессии на адекватность.

Конец

В этой процедуре выполняется расчет следующих промежуточных величин, необходимых для вычисления значения $F_{расч}$ и dAi: Dвоспр. – дисперсия воспроизводимости; Dад – дисперсия адекватности f – число степеней свободы $\hat{Y}_i$ – значение выходного параметра, вычисленное по уравнению регрессии.

Сначала определяется число степеней свободы f как [1]:

$$= m - (n + 1), \qquad (5)$$

где m – число опытов, в матрице факторного эксперимента; n – число факторов.

Затем вычисляется $\hat{Y}_i$ – значение выходного параметра, вычисленное по уравнению регрессии [1]:

$$Y = a_0 + a_1*q1 + a_2*q2 + a_3*q3 + a_4*q4, \qquad (6)$$

где – qi – знак (–) или (+) для фактора q_i.

Дисперсия адекватности вычисляется по формуле [1]:

$$D_{АД} = \frac{\sum_{j=1}^{m}\left(Y_i - Y_i\right)^2}{f}, \qquad (7)$$

где Y_i – значение выходного параметра в эксперименте (экспериментальное значение в матрице факторного эксперимента); $\hat{Y}_i$ – значение выходного параметра, вычисленное по уравнению регрессии (теоретическое значение); f – число степеней свободы.

Дисперсия воспроизводимости вычисляется по формуле [1]:

$$D_{ВОСПР} = \frac{\sum_{j=1}^{m}\left(Y_i - \overline{Y}_i\right)^2}{m-1}, \qquad (8)$$

где $\overline{Y}_i$ – среднее значение выходного параметра или свободный член уравнения регрессии a_0.

После того как вычислены все промежуточные величины, определяются значения $F_{расч}$ и dAi по формулам [1]:

$$F_{РАСЧ} = \frac{D_{АД}}{D_{ВОСПР}},$$

$$\Delta a_i = \frac{t \cdot \sqrt{D_{ВОСПР}}}{\sqrt{m}}, \qquad (9)$$

где t – это коэффициент Стьюдента, значение которому присваивается в зависимости от количества строк, полученных при преобразовании матрицы факторного эксперимента, сами значения определены из [1].

12) Проверка уравнения регрессии на адекватность и сравнение доверительного интервала с коэффициентами уравнения регрессии dA < a_i.

Все значения критериев Фишера и Стьюдента приведены в [3] и заложены в базу данных программы.

Начало

1. Если $F_{расч} > F_{табл}$, то выводим «Уравнение регрессии неадекватно».
2. Если $F_{расч} < F_{табл}$, то продолжаем проверку.
3. Сравниваем все коэффициенты уравнения регрессии с доверительным интервалом.

Конец

Здесь выполняется проверка уравнения регрессии на адекватность, т.е. $F_{РАСЧ} < F_{ТАБЛ}$ [1].

Сравнение доверительного интервала с коэффициентами уравнения регрессии dA < a_i заключается в следующем: если коэффициент регрессии по модулю меньше доверительного интервала, то этот коэффициент приравниваем к нулю.

Здесь программа поочередно сравнивает коэффициенты уравнения регрессии по модулю с доверительным интервалом.

13) Расчет коэффициентов уравнения погрешности и вывод результата на экран

От уравнения регрессии в безразмерном виде переходим к составлению уравнения погрешности.

Начало

1. Проводим расчет коэффициентов уравнения погрешности с первого по четвертый;
2. Вывод окончательного результата – уравнения погрешности на экран.

Конец

В этой процедуре выполняется расчет конечного результата исследования массива данных по формуле [1]:

$$b_i = \frac{a_i \cdot X_{i0}}{\Delta X_i \cdot a_0}, \qquad (10)$$

Уравнение погрешности имеет вид [1]:

$$\frac{\Delta N_{вых}}{N_{вых}} = b_1 \frac{\Delta U_1}{U_1} + b_2 \frac{\Delta U_2}{U_2} + \ldots b_i \frac{\Delta U_i}{U_i} + \ldots b_n \frac{\Delta U_n}{U_n}, \quad (11)$$

где $\frac{\Delta N_{вых}}{N_{вых}}$ – относительное изменение выходного параметра;

$\frac{\Delta U_i}{U_i}$ – относительное изменение фактора;

n – число факторов.

Таким образом, нами создана программа статистической обработки массивов непрерывных данных по методике, предложенной в [2]. С помощью разработанной программы нами были обработаны массивы данных, полученных на четырех месторождениях ООО «Ноябрьск-Газодобыча», которые позволили выявить причины высокой погрешности приборов влагометрии природного газа семейства «Конг-Прима». По результатам исследований были приняты технические, программные и организационные меры по снижению влияния внешних и внутренних факторов на результаты измерений. Указанные меры позволили, в конечном итоге, повысить качество природного газа, поставляемого потребителю.

Литература

1. Алексеев В.П., Озеркин Д.В. Основы научных исследований. Томск, 2003.
2. Алексеев В.П., Зайцев О.Ю. Теория планирования эксперимента в задачах влагометрии природного газа // Газовая промышленность. 2003. № 4.

УДК 621.396.6

В.П. Алексеев

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Современные представления о методах прогнозирования (расчета) надежности как отечественных, так и зарубежных радотехнических устройств (РТУ) отражены в [1]. Там же приведены рассчитанные уровни надежности ЭРИ зарубежного производства. Согласно [1], надежность является функцией многих аргументов (факторов, влияющих на надежность РТУ), в общем случае индивидуальных для каждого класса РТУ. Одним из наиболее важных факторов, определяющих надежность РТУ, является температура электрорадиоизделий, а особенно полупроводниковых приборов, так, например, достаточно давно известно, что повышение температуры даже до относительно умеренных значений +40–60°С может приводить [2, 3] к увеличению прямых и обратных токов полупроводниковых переходов, повышению проводимости утечки в полупроводниковых приборах и другим эффектам, непосредственно оказывающим влияние на надежность РЭА. Помимо этого, в [1] отмечен факт резкого увеличения в последние годы количества отказов интегральных микросхем из-за дефектов кристалла и корпуса. А дефекты такого рода в значительной степени обусловлены температурной неоднородностью и температурными напряжениями [4].

Для анализа температурных полей в элементах и блоках радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) до настоящего времени наиболее часто использовались модели с сосредоточенными параметрами [5] или «нуль-мерные». Такой подход позволяет существенно упростить процедуру анализа и расчета температурных полей благодаря положенному в основу базовому допущению о том, что как в малоразмерных ЭРИ, так и в достаточно крупных деталях аппаратуры отсутствуют градиенты температуры по всем координатным направлениям. Соответственно, температурное поле любого ЭРИ или