

А. И. Барботько

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ
АЛГОРИТМЫ
ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**



**ТОНКИЕ
НАУКОЕМКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

А. И. БАРБОТЬКО

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ
ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

2-е издание, стереотипное

Допущено Учебно-методическим объединением вузов
по образованию в области автоматизированного
машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению
«Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

Старый Оскол
ТНТ
2018

УДК 621
ББК 34.4
Б 246

Рецензенты:

доктор технических наук, доцент А. В. Хандожко
доктор технических наук, профессор В. Н. Лопин

Барботько А. И.

Б 246 **Статистические алгоритмы обработки результатов экспериментальных исследований в машиностроении: учебное пособие / А. И. Барботько. — 2-е изд., стер. — Старый Оскол : ТНТ, 2018. — 404 с.**

ISBN 978-5-94178-452-3

Учебное пособие содержит алгоритмы расчётно-практических работ, выполнение которых определено рабочими программами курса математической статистики в машиностроении. Каждый алгоритм включает в себя необходимый набор вариантов индивидуальных заданий одновременно на всю группу студентов, примеры выполнения предлагаемых заданий и необходимые теоретические обоснования, банки дополнительных данных и приложения.

Работу по выполнению заданий по математической статистике в машиностроении предполагается проводить, прежде всего, на групповых практических занятиях в компьютерном зале, а также в индивидуальном порядке.

Учебное пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», а также будет полезно преподавателям соответствующих дисциплин, студентам, готовящим магистерские диссертации, и аспирантам.

УДК 621
ББК 34.4

ISBN 978-5-94178-452-3

© Барботько А. И., 2018
© Оформление. ООО «ТНТ», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	8
ВВЕДЕНИЕ	10
I. МЕТОДЫ И СПОСОБЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ...	12
1. АКСИОМЫ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ	16
1.1. Общие закономерности случайных событий	16
1.2. Принципы оценки распределений случайных величин ...	28
1.3. Приёмы построения теоретических кривых нормального распределения	36
2. МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ	44
2.1. Обработка экспериментальных данных по способу наименьших квадратов	44
2.2. Обработка результатов планируемых экспериментов ...	51
2.3. Методы дисперсионного и ковариационного анализов в оценке влияния технологических факторов на выходные параметры системы	57
2.4. Корреляционный и регрессионный анализы	59
II. АЛГОРИТМЫ РАСЧЁТНО-ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ	69
ГЛАВА 1. АЛГОРИТМЫ МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	69
1. АЛГОРИТМ ОДНОФАКТОРНОГО ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА	69
1.1. Индивидуальные задания	69
1.2. Теоретические положения	71
1.3. Пример выполнения расчёта	75
2. АЛГОРИТМ МНОГОФАКТОРНОГО ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА	79
2.1. Индивидуальные задания	79
2.2. Теоретические положения	83
3. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ В РАМКАХ ЛАТИНСКОГО КВАДРАТА	94
3.1. Индивидуальные задания	94
3.2. Теоретические положения	97

3.3. Алгоритм обработки экспериментальных данных ...	100
3.4. Пример расчёта	105
4. АЛГОРИТМ РЕГРЕССИОННОГО ОДНОФАКТОРНОГО И МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗОВ	109
4.1. Однофакторный регрессионный анализ	109
4.2. Многофакторный регрессионный анализ	116
5. МЕТОД КОВАРИАЦИОННОГО АНАЛИЗА В ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ФАКТОРОВ НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	128
5.1. Индивидуальные задания	128
5.2. Теоретическое обоснование метода	128
5.3. Порядок выполнения анализа	131
5.4. Схема практической реализации метода ковариационного анализа	135
6. УСТАНОВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МНОЖЕСТВЕННЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ	138
6.1. Индивидуальные задания	138
6.2. Примеры выполнения задания	141
6.3. Пример выполнения основного индивидуального задания	151
ГЛАВА 2. АЛГОРИТМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЙЯНИЯ РАЗМЕРОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ	159
1. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДИАМЕТРАЛЬНОГО РАЗМЕРА ИЗДЕЛИЙ	159
1.1. Структура задания	159
1.2. Алгоритм выполнения задания	170
1.3. Пример расчёта основных характеристик эмпирического распределения	170
1.4. Индивидуальные задания	170
2. ПРОВЕРКА СООТВЕТСТВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ ПРИНЯТОМУ ТЕОРЕТИЧЕСКОМУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОЛМОГОРОВА	189
2.1. Индивидуальные задания	190
2.2. Пример обработки экспериментальных данных	192

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ПОПАДАНИЯ РАЗМЕРНОЙ ВЕЛИЧИНЫ В ЗАДАННЫЙ ИНТЕРВАЛ ЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ	194
3.1. Использование общей модели нормального распределения	196
3.2. Использование интегральной модели нормального распределения	198

ГЛАВА 3. АЛГОРИТМЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ УПРОЩЁННЫМИ МЕТОДАМИ И МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ	201
1. АППРОКСИМАЦИЯ ЗАВИСИМОСТИ ИЗНОС-ВРЕМЯ ...	201
1.1. Индивидуальные задания	201
1.2. Порядок выполнения расчётной работы	202
1.3. Алгоритм аппроксимации по методу четырёх точек (на примере исследования соотношения размерный износ h_s — время τ)	203
1.4. Алгоритм исследования графиков $h_s = f(\tau)$ по методу анализа 10-15 точек	204
1.5. Алгоритм расчёта на основе метода наименьших квадратов (МНК)	207
1.6. Пример выполнения индивидуального задания	208
1.7. Алгоритм проверочных расчётов	215
2. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ БОЛЬШИХ ВЫБОРОК	216
2.1. Индивидуальные задания	216
2.2. Теоретические положения	219
2.3. Примеры выполнения расчётной работы	225
3. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	233
3.1. Индивидуальные задания	233
3.2. Теоретические положения	237
3.3. Пример выполнения расчётной работы	241
4. АЛГОРИТМ ИССЛЕДОВАНИЯ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ КЛАССИЧЕСКИМ И ФАКТОРНЫМ МЕТОДАМИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ	248
4.1. Подготовка исходных данных	248

4.2. Пример выполнения расчётно-графической работы	252
4.3. Общий алгоритм выполнения расчётной работы по планированию и обработке экспериментальных данных технического классического и факторного экспериментов в области механической обработки материалов	265
5. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЛАНИРУЕМЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	268
5.1. Индивидуальные задания	268
5.2. Пример выполнения задания	271
ГЛАВА 4. АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	280
1. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ИНСТРУМЕНТОВ	280
1.1. Индивидуальные задания	280
1.2. Пример выполнения задания	282
2. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ	288
2.1. Индивидуальные задания	292
2.2. Алгоритм выполнения задания	292
2.3. Пример расчёта	292
3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	295
3.1. Индивидуальные задания	295
3.2. Пример выполнения задания	299
4. УСТАНОВЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ОТ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ...	302
4.1. Индивидуальные задания	303
4.2. Порядок выполнения расчётной работы	303
4.3. Примеры выполнения работы	303
ГЛАВА 5. АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ	310

1. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	310
1.1. Индивидуальные задания	310
1.2. Пример выполнения задания	310
2. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ В РЕШЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ	316
2.1. Индивидуальное задание	316
2.2. Пример выполнения задания	316
3. ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СВЕРЛЕНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	319
3.1. Индивидуальные задания	320
3.2. Теоретические положения	320
3.3. Пример расчёта оптимальных параметров глубокого сверления	324
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	329
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	332
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	335
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	372
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	382
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	384
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ	396