

**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

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	8
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	10
<b>I. МЕТОДЫ И СПОСОБЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ</b> ...	12
<b>1. АКСИОМЫ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ</b> .....	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
<b>2. МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ     ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ     СИСТЕМ</b> .....	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
<b>II. АЛГОРИТМЫ РАСЧЁТНО-ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ</b> .....	69
<b>ГЛАВА 1. АЛГОРИТМЫ МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО     АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</b> .....	69
<b>1. АЛГОРИТМ ОДНОФАКТОРНОГО ДИСПЕРСИОННОГО         АНАЛИЗА</b> .....	69
1.1. Индивидуальные задания .....	69
1.2. Теоретические положения .....	71
1.3. Пример выполнения расчёта .....	75
<b>2. АЛГОРИТМ МНОГОФАКТОРНОГО ДИСПЕРСИОННОГО         АНАЛИЗА</b> .....	79
2.1. Индивидуальные задания .....	79
2.2. Теоретические положения .....	83
<b>3. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТОВ,         ВЫПОЛНЕННЫХ В РАМКАХ ЛАТИНСКОГО         КВАДРАТА</b> .....	94
3.1. Индивидуальные задания .....	94
3.2. Теоретические положения .....	97

3.3. Алгоритм обработки экспериментальных данных ...	100
3.4. Пример расчёта .....	105
<b>4. АЛГОРИТМ РЕГРЕССИОННОГО ОДНОФАКТОРНОГО И МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗОВ .....</b>	<b>109</b>
4.1. Однофакторный регрессионный анализ .....	109
4.2. Многофакторный регрессионный анализ .....	116
<b>5. МЕТОД КОВАРИАЦИОННОГО АНАЛИЗА В ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ФАКТОРОВ НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>128</b>
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
<b>6. УСТАНОВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МНОЖЕСТВЕННЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ .....</b>	<b>138</b>
6.1. Индивидуальные задания .....	138
6.2. Примеры выполнения задания .....	141
6.3. Пример выполнения основного индивидуального задания .....	151
<b>ГЛАВА 2. АЛГОРИТМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЯНИЯ РАЗМЕРОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ .....</b>	<b>159</b>
<b>1. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДИАМЕТРАЛЬНОГО РАЗМЕРА ИЗДЕЛИЙ .....</b>	<b>159</b>
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
<b>2. ПРОВЕРКА СООТВЕТСТВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ ПРИНЯТОМУ ТЕОРЕТИЧЕСКОМУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОЛМОГОРОВА .....</b>	<b>189</b>
2.1. Индивидуальные задания .....	190
2.2. Пример обработки экспериментальных данных .....	192

<b>3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ПОПАДАНИЯ РАЗМЕРНОЙ ВЕЛИЧИНЫ В ЗАДАННЫЙ ИНТЕРВАЛ ЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ .....</b>	<b>194</b>
3.1. Использование общей модели нормального распределения .....	196
3.2. Использование интегральной модели нормального распределения .....	198
<b>ГЛАВА 3. АЛГОРИТМЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ УПРОЩЁННЫМИ МЕТОДАМИ И МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ .....</b>	<b>201</b>
<b>1. АППРОКСИМАЦИЯ ЗАВИСИМОСТИ ИЗНОС-ВРЕМЯ ...</b>	<b>201</b>
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 $\tau$ ) .....	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
<b>2. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ     МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ БОЛЬШИХ     ВЫБОРОК .....</b>	<b>216</b>
2.1. Индивидуальные задания .....	216
2.2. Теоретические положения .....	219
2.3. Примеры выполнения расчётной работы .....	225
<b>3. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК     ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА .....</b>	<b>233</b>
3.1. Индивидуальные задания .....	233
3.2. Теоретические положения .....	237
3.3. Пример выполнения расчётной работы .....	241
<b>4. АЛГОРИТМ ИССЛЕДОВАНИЯ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ     СИЛЫ РЕЗАНИЯ КЛАССИЧЕСКИМ И ФАКТОРНЫМ     МЕТОДАМИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ .....</b>	<b>248</b>
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
<b>5. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЛАНИРУЕМЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ .....</b>	<b>268</b>
5.1. Индивидуальные задания .....	268
5.2. Пример выполнения задания .....	271
<b>ГЛАВА 4. АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....</b>	<b>280</b>
<b>1. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ИНСТРУМЕНТОВ .....</b>	<b>280</b>
1.1. Индивидуальные задания .....	280
1.2. Пример выполнения задания .....	282
<b>2. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ .....</b>	<b>288</b>
2.1. Индивидуальные задания .....	292
2.2. Алгоритм выполнения задания .....	292
2.3. Пример расчёта .....	292
<b>3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ .....</b>	<b>295</b>
3.1. Индивидуальные задания .....	295
3.2. Пример выполнения задания .....	299
<b>4. УСТАНОВЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ОТ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ...</b>	<b>302</b>
4.1. Индивидуальные задания .....	303
4.2. Порядок выполнения расчётной работы .....	303
4.3. Примеры выполнения работы .....	303
<b>ГЛАВА 5. АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ .....</b>	<b>310</b>

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