

В.И. Круглов, В.И. Ершов,  
А.С. Чумадин, В.В. Курицына

# МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АВИА- и РАКЕТОСТРОЕНИИ

*Учебное пособие*



Москва • Логос • 2011

УДК 629.7  
ББК 39.52  
М54

*Серия основана в 2003 году*

Рецензенты

*К.А. Макаров*, доктор технических наук, профессор  
Комсомольского-на-Амуре государственного технического  
университета  
Кафедра производства летательных аппаратов  
Самарского государственного аэрокосмического университета  
им. С.П. Королева

*Издание осуществлено при поддержке  
Московской финансово-юридической академии*

*Работа выполнена по плану аналитической  
ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы  
(2009–2010 годы)»*

**М54    Методология** научных исследований в авиа- и ракетострое-  
нии: учеб. пособие / В.И. Круглов, В.И. Ершов, А.С. Чумадин,  
В.В. Курицына. — М.: Логос, 2011. — 432 с.: ил. — (Новая уни-  
верситетская библиотека).

ISBN 978-5-98704-571-8

Рассматриваются структура и содержание основных этапов исследо-  
вательского процесса в области технических наук. Приводятся класси-  
фикация методов аналитических и экспериментальных исследований,  
основные направления научных исследований в области авиа- и ракето-  
строения. Значительное внимание уделено вопросам организации,  
планирования, технического обеспечения и автоматизации экспери-  
ментальных исследований, а также некоторым методам обработки экспери-  
ментальных данных.

Для студентов, обучающихся в вузах по направлениям (специаль-  
ностям) техники и технологии. Представляет интерес для магистрантов  
и аспирантов, специализирующихся в сфере исследований и разработок  
в области технических наук. Окажет помощь при подготовке квалифика-  
ционных научных работ.

УДК 629.7  
ББК 39.52

**ISBN 978-5-98704-571-8**

© Круглов В.И., Ершов В.И.,  
Чумадин А.С., Курицына В.В., 2011  
© Логос, 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>11</b>
<b>Глава 1. Методология и методика научного исследования .....</b>	<b>13</b>
1.1. Научное исследование, его сущность и особенности .....	13
1.1.1. Предмет и основные задачи курса .....	13
1.1.2. Сущность научного исследования .....	14
1.1.3. Основные направления исследований в области авиаракетостроения .....	15
1.1.4. Особенности экспериментальных исследований в авиа- и ракетостроении .....	20
1.1.5. Виды исследований .....	20
1.2. Классификация методов, применяемых в научных исследованиях .....	23
1.2.1. Сущность методологического аппарата .....	23
1.2.2. Структурная классификация методов инженерных исследований .....	27
1.2.3. Организационные методы .....	30
1.2.4. Эмпирические методы получения первичной информации. Экспериментальные исследования ...	30
1.2.5. Теоретико-аналитические методы обработки данных .....	33
1.2.6. Интерпретационные методы .....	38
1.2.7. Экспертные методы .....	41
1.2.8. Организация коллективной экспертизы .....	45
1.2.9. Прогностические методы .....	47
1.2.10. Логический вывод, доказательство и аргументирование .....	50
1.3. Структура и содержание этапов исследовательского процесса .....	55
1.3.1. Логика процесса научного исследования .....	55
1.3.2. Постановка проблемы .....	57
1.3.3. Основные этапы исследования и их содержание ....	59
1.4. Внедрение результатов исследования .....	69

<b>Глава 2. Планирование экспериментальных исследований</b>	<b>71</b>
2.1. Основные понятия планирования эксперимента	71
2.1.1. Общая характеристика и классификация научных экспериментов	71
2.1.2. Определения и термины	73
2.1.3. План эксперимента, факторное пространство	77
2.1.4. Стабильность экспериментов	80
2.1.5. Пути повышения точности эксперимента	81
2.1.6. Погрешности измерений	81
2.1.7. Постановка задачи планирования эксперимента	86
2.2. Совокупность случайных погрешностей.	
Закон нормального распределения	87
2.2.1. Закон нормального распределения	88
2.2.2. «Наилучший» результат выборки и обоснование метода наименьших квадратов	93
2.2.3. Погрешность среднего	95
2.2.4. Вероятностная бумага. Распределения, отличающиеся от нормального	97
2.2.5. Распределение ошибок, отличающееся от нормального	100
2.2.6. Оценка точности при малом числе измерений. Распределение Стюдента	101
2.2.7. Оценка точности грубых измерений	103
2.3. Ошибка и неопределенность эксперимента в целом	105
2.3.1. Ошибки результатов в виде суммы и произведения	105
2.3.2. Определение показателей точности для произвольной функции	108
2.3.3. Планирование эксперимента с точки зрения анализа ошибок	110
2.3.4. Нахождение неопределенности результата с помощью графиков и диаграмм	112
2.4. Элементы теории подобия и размерностей	113
2.4.1. Подобие физических явлений	114
2.4.2. Составление критериев подобия	120
2.4.3. Метод анализа размерностей на основе применения $\pi$ -теоремы Букингема	122
2.4.4. Моделирование	125
2.5. Последовательность и план проведения эксперимента	129
2.5.1. Стратегическое планирование эксперимента	129
2.5.2. Определение интервалов между экспериментальными точками	130

2.5.3. Однофакторные эксперименты. План экспериментов .....	132
2.5.4. Многофакторные эксперименты: классические планы .....	136
2.5.5. Многофакторные эксперименты: факторные планы .....	138
2.5.6. Тактическое планирование эксперимента .....	145
2.6. Факторное планирование при поиске оптимальных условий .....	147
2.6.1. Общие принципы в задачах планирования экспериментальных исследований .....	147
2.6.2. Построение планов полного факторного экспе- римента .....	158
2.6.3. Дробный факторный эксперимент .....	163
<b>Глава 3. Методы обработки и анализа экспериментальных данных</b>	<b>169</b>
3.1. Задачи обработки и интерпретации данных .....	169
3.2. Статистическое представление экспериментальных данных .....	174
3.2.1. Числовые характеристики случайной величины ....	175
3.2.2. Некоторые законы распределения случайных величин в технике и технологии .....	179
3.2.3. Представление выборки результатов измерений в виде ряда распределений .....	188
3.3. Проверка данных и исключение ошибочных результатов .....	191
3.3.1. Использование статистических критериев .....	191
3.3.2. Проверка данных с использованием уравнений баланса .....	199
3.3.3. Определение источника систематических ошибок с помощью уравнения баланса .....	201
3.3.4. Проверка данных путем экстраполяции .....	210
3.4. Статистические гипотезы оценки адекватности .....	218
3.4.1. Статистическая гипотеза .....	218
3.4.2. Ошибки при определении адекватности .....	220
3.4.3. Порядок проверки статистической гипотезы ....	220
3.4.4. Типовые задачи проверки гипотез .....	222
3.5. Критерии проверки некоторых гипотез .....	222
3.5.1. Критерии согласия .....	223
3.5.2. Оценка соответствия результатов эксперимента закону нормального распределения .....	225
3.5.3. Критерий равенства дисперсий двух процессов ....	229

3.5.4. Критерии сравнения нескольких выборочных дисперсий .....	230
3.5.5. Критерии оценки значимости .....	232
3.6. Оценка влияния и взаимосвязи факторов .....	239
3.6.1. Методы оценки взаимосвязей .....	239
3.6.2. Однофакторный дисперсионный анализ .....	241
3.6.3. Многофакторный дисперсионный анализ .....	242
3.6.4. Корреляционный анализ .....	244
3.6.5. Регрессионный анализ .....	248
3.7. Методика статистической обработки экспериментальных данных .....	253
3.7.1. Этапы статистической обработки данных эксперимента .....	254
3.7.2. Справочные материалы .....	267
3.7.3. Примеры статистической обработки данных эксперимента .....	269
3.8. Подбор эмпирических формул по виду экспериментальных графиков. Аппроксимация данных измерений .....	282
3.8.1. Задача аппроксимации дискретных данных .....	282
3.8.2. Определение эмпирических формул .....	285
3.8.3. Аппроксимация экспериментальных данных методом наименьших квадратов .....	289
3.8.4. Интерполяция экспериментальных данных .....	296
3.9. Элементы гармонического анализа .....	304
3.9.1. Периодические сигналы .....	304
3.9.2. Аппроксимация периодических функций .....	308
3.9.3. Основы спектрального (частотного) анализа процессов .....	310
3.9.4. Анализ дискретных сигналов .....	312
3.9.5. Амплитудное и фазовое представление .....	315
3.9.6. Спектральный анализ отклонения форм от круглости .....	315
<b>Глава 4. Технологическое обеспечение научных исследований .....</b>	<b>319</b>
4.1. Подготовка экспериментальных исследований .....	319
4.1.1. Структура подготовительных работ .....	319
4.1.2. Объект исследования .....	321
4.1.3. Экспериментальное оборудование .....	322
4.1.4. Организационная подготовка .....	323
4.2. Принципы регистрации данных наблюдений. Оценочные и измерительные шкалы .....	324
4.2.1. Элементы теории измерительных шкал .....	324

4.2.2.	Расплывчатое описание ситуаций при регистрации наблюдений .....	331
4.2.3.	Принципы регистрации данных наблюдений .....	332
4.2.4.	Особенность протоколов наблюдений .....	335
4.2.5.	Режимы сбора и обработки экспериментальных данных .....	336
4.3.	Измерительные системы .....	337
4.3.1.	Измерительные системы в экспериментальных исследованиях .....	337
4.3.2.	Типовая структура автоматизированных систем экспериментальных исследований .....	339
4.3.3.	Измерительная аппаратура .....	342
4.3.4.	Типовые первичные преобразователи элементов автоматизации технических измерений .....	348
4.3.5.	Погрешности технических измерений .....	362
4.3.6.	Методы измерения и классификация контрольно-измерительных приборов .....	364
4.3.7.	Согласование сигналов в измерительных системах .....	368
4.3.8.	Импеданс и нагрузка в измерительных системах ....	369
4.4.	Техника измерений физических параметров в экспери- ментальных исследованиях .....	374
4.4.1.	Особенности методов исследований в технологии авиаракетостроения .....	374
4.4.2.	Измерение деформаций, перемещений, напряжений .....	377
4.4.3.	Контроль температуры .....	379
4.4.4.	Контроль давления и разрежения .....	394
4.4.5.	Вибрационная диагностика .....	403
4.5.	Информационные системы .....	405
4.5.1.	Вычислительная техника в научных иссле- дованиях .....	405
4.5.2.	Структурная организация информационно- вычислительных систем .....	407
4.5.3.	Интерфейсы передачи информации .....	410
4.5.4.	Каналы передачи информации .....	411
4.5.5.	Измерительный интерфейс .....	413
4.5.6.	Структурные схемы интерфейсных соединений ....	414
4.5.7.	Регистрация и хранение информации .....	416
4.5.8.	Программное обеспечение научных исследований .....	418

4.6. АСНИ – Автоматизированные системы научных исследований .....	421
4.6.1. Возможности автоматизации на различных этапах НИР .....	421
4.6.2. Автоматизированная система научных исследований, ее основные цели и функции .....	423
4.6.3. Особенности АСНИ .....	424
4.6.4. Гибкость структуры АСНИ и способы ее обеспечения .....	425
4.6.5. Адаптивность АСНИ .....	426
4.7. Показатели качества систем обеспечения экспериментальных исследований .....	427
<b>Литература</b> .....	430