

## 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<br>авиаракетостроения .....                   | 15        |
| 1.1.4. Особенности экспериментальных исследований<br>в авиа- и ракетостроении .....              | 20        |
| 1.1.5. Виды исследований .....                                                                   | 20        |
| 1.2. Классификация методов, применяемых в научных<br>исследованиях .....                         | 23        |
| 1.2.1. Сущность методологического аппарата .....                                                 | 23        |
| 1.2.2. Структурная классификация методов<br>инженерных исследований .....                        | 27        |
| 1.2.3. Организационные методы .....                                                              | 30        |
| 1.2.4. Эмпирические методы получения первичной<br>информации. Экспериментальные исследования ... | 30        |
| 1.2.5. Теоретико-аналитические методы обработки<br>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<br>и аргументирование .....                             | 50        |
| 1.3. Структура и содержание этапов исследовательского<br>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 Стьюдента .....       | 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.<br>План экспериментов .....                                | 132        |
| 2.5.4. Многофакторные эксперименты:<br>классические планы .....                               | 136        |
| 2.5.5. Многофакторные эксперименты:<br>факторные планы .....                                  | 138        |
| 2.5.6. Тактическое планирование эксперимента .....                                            | 145        |
| 2.6. Факторное планирование при поиске оптимальных<br>условий .....                           | 147        |
| 2.6.1. Общие принципы в задачах планирования<br>экспериментальных исследований .....          | 147        |
| 2.6.2. Построение планов полного факторного экспе-<br>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<br>данных .....                           | 174        |
| 3.2.1. Числовые характеристики случайной величины ....                                        | 175        |
| 3.2.2. Некоторые законы распределения случайных<br>величин в технике и технологии .....       | 179        |
| 3.2.3. Представление выборки результатов измерений<br>в виде ряда распределений .....         | 188        |
| 3.3. Проверка данных и исключение ошибочных<br>результатов .....                              | 191        |
| 3.3.1. Использование статистических критериев .....                                           | 191        |
| 3.3.2. Проверка данных с использованием уравнений<br>баланса .....                            | 199        |
| 3.3.3. Определение источника систематических<br>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<br>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<br>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<br>данных .....                               | 336 |
| 4.3.   | Измерительные системы .....                                                              | 337 |
| 4.3.1. | Измерительные системы в экспериментальных<br>исследованиях .....                         | 337 |
| 4.3.2. | Типовая структура автоматизированных систем<br>экспериментальных исследований .....      | 339 |
| 4.3.3. | Измерительная аппаратура .....                                                           | 342 |
| 4.3.4. | Типовые первичные преобразователи элементов<br>автоматизации технических измерений ..... | 348 |
| 4.3.5. | Погрешности технических измерений .....                                                  | 362 |
| 4.3.6. | Методы измерения и классификация<br>контрольно-измерительных приборов .....              | 364 |
| 4.3.7. | Согласование сигналов в измерительных<br>системах .....                                  | 368 |
| 4.3.8. | Импеданс и нагрузка в измерительных системах ....                                        | 369 |
| 4.4.   | Техника измерений физических параметров в экспери-<br>ментальных исследованиях .....     | 374 |
| 4.4.1. | Особенности методов исследований в технологии<br>авиаракетостроения .....                | 374 |
| 4.4.2. | Измерение деформаций, перемещений,<br>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-<br>дованиях .....                                | 405 |
| 4.5.2. | Структурная организация информационно-<br>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<br>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>                                                                  | <b>430</b> |